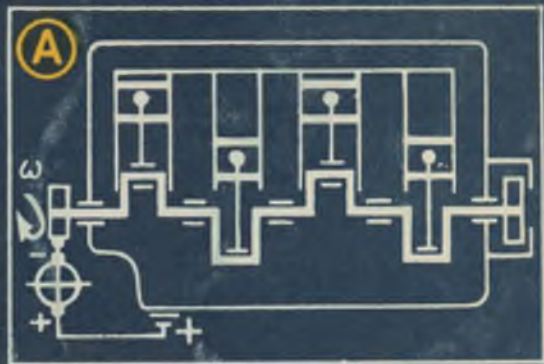


40 12 1972  
H60  
1000



*М. Х. Нигаматов*

# **УСКОРЕННАЯ ОБКАТКА ДВИГАТЕЛЕЙ ПОСЛЕ РЕМОНТА**

*М. Х. Нигаматов*

**УСКОРЕННАЯ  
ОБКАТКА  
ДВИГАТЕЛЕЙ  
ПОСЛЕ  
РЕМОНТА**



*Москва  
«Колос»  
1984*

631.303-082

ББК 40.7

И160

УДК 631.3.004.67 : 621.436.004.67

Рецензенты: старший научный сотрудник лаборатории исследования износов и технологии ремонта двигателей ГОСНИТИ, канд. техн. наук *А. М. Ступников*, начальник Управления ремонта, технического обслуживания и хранения техники Главного управления механизации МСХ СССР *В. И. Яловнаров*.

**Нигаматов М. Х.**

**Н60** Ускоренная обкатка двигателей после ремонта. — М.: Колос, 1983. — 79 с., ил.

Рассмотрены различные технологические процессы ускоренной обкатки дизелей на ремонтных предприятиях Госкомсельхозтехники СССР. Подробно описана технология приработки дизелей с применением электрического тока, освещен опыт внедрения этого метода в производство.

Для инженерно-технических работников сельского хозяйства, занимающихся ремонтом тракторных двигателей.

Н 3802040400—194 87—84  
035(01)—84

ББК 40.7  
631.3

## ПРЕДИСЛОВИЕ

В решениях XXVI съезда КПСС и последующих Пленумов ЦК КПСС указаны главные задачи текущей и предстоящей пятилеток вплоть до 1990 г. Среди основных направлений, определяющих перспективы долгосрочного развития всех отраслей промышленности и сельского хозяйства, серьезное внимание уделяется созданию новых и совершенствованию существующих технологических процессов, а также дальнейшему развитию научных исследований, ускоренному и широкому внедрению их результатов в народное хозяйство.

Успешное выполнение Продовольственной программы СССР во многом зависит от переоснащения сельскохозяйственного производства высокоэффективной техникой. Большое значение имеет повышение технического уровня, качества и особенно надежности тракторов, комбайнов, машин и оборудования для растениеводства, животноводства и кормопроизводства.

В одиннадцатой и двенадцатой пятилетках предусмотрена широкая программа работ по коренному улучшению использования, технического обслуживания и ремонта сельскохозяйственной техники. Особое внимание в связи с этим уделяется повышению ресурса тракторных двигателей. В немалой степени продолжительность их работы зависит от качества обкатки и приработки деталей и сборочных единиц. С этой целью создана широкая сеть специализированных мотороремонтных мастерских и заводов, что позволяет применить единую технологию обкатки отремонтированных двигателей.

Исследованиями установлено, что долговечность двигателей зависит не только от конструкции, качества материалов и смазки трущихся деталей, но и от условий их приработки.

Правильно выбранные способы и режимы обкатки двигателей значительно снижают их последующий износ и увеличивают надежность в эксплуатации. Существующие способы обкатки требуют значительных затрат времени. Большую экономию его можно получить за счет применения ускоренных методов обкатки двигателей, позволяющих сокращать сроки их пребывания в ремонте и повышать производительность труда на ремонтных работах.

В этой книге автор рассматривает как существующие способы ускоренной обкатки, так и разработанный при его участии способ обкатки двигателей с использованием электрического тока. Этот новый способ широко внедряется на мотороремонтных заводах системы Госкомсельхозтехники СССР и в специализированных мастерских колхозов и совхозов и дает высокий экономический эффект.

# 1

## ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

### 1. ОБКАТКА ОТРЕМОНТИРОВАННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

В соответствии с требованиями ГОСТ 18523—79 ремонтные предприятия обязаны при капитальном ремонте подвергать обкатке и приемо-сдаточным испытаниям каждый тракторный и комбайновый дизель.

Начальный период износа сопряжения характеризуется нелинейным изменением его геометрии во времени. Это связано с увеличением начальной шероховатости поверхностей (процесс микроприработки) и соответственно реальной площади контакта сопрягаемых поверхностей. Процесс приработки заканчивается установлением оптимального значения шероховатости сопряженных поверхностей. Макроприработка связана с неточностью изготовления (погрешности сборки, несовпадение поверхностей, частичная деформация деталей в результате процесса изготовления или ремонта и т. д.). Площадь контакта в начале работы изделия меньше номинальной, однако в процессе изнашивания она увеличивается.

Необходимость обкатки двигателей после изготовления и ремонта доказал Г. Р. Ардашев. Он сравнивал работу тракторов с двигателями, прошедшими обкатку и без нее. В результате оказалось, что тракторы с необкатанными двигателями развивали малую мощность, работали с перебоями, перерасходовали масло и горючее. Детали гильзо-поршневой группы быстро изнашивались. Годовая выработка тракторов с необкатанными двигателями составила всего 25 % от выработки тракторов с двигателями, прошедшими обкатку.

**Обкатка** как заключительный этап в технологическом процессе позволяет определить качество ремонта двигателя, состояние узлов и деталей. Своевременное устранение погрешностей ремонта во время обкатки гарантирует уменьшение отказов в период эксплуатации двигателей.

О характере приработочных отказов двигателя Д-50 можно судить по следующим данным

Отказ	Процент от общего количества отказов
Газы в системе охлаждения . . . . .	32,53
Вода в картере . . . . .	21,27
Стук коренных и шатунных подшипников . . . . .	10,01
Заклинивание подшипников коленчатого вала . . . . .	9,99
Отсутствие давления масла . . . . .	5,93
Заклинивание поршня . . . . .	5,63
Стук поршневой группы . . . . .	5,61
Выход масла и газа через сапун . . . . .	2,82
Отсутствие смазки в клапанном механизме . . . . .	1,24
Заклинивание распределительного вала . . . . .	0,94
Пропуск газов через клапаны . . . . .	0,93
Непроворачивание коленчатого вала . . . . .	0,63
Отсутствие толкателя . . . . .	0,62
Выход обогащенного газа в выхлоп . . . . .	0,62
Течь масла в заглушку . . . . .	0,31
Отсутствие упорных колец . . . . .	0,31
Неисправность топливного насоса . . . . .	0,31
Трещина блока . . . . .	0,31
Отсутствие диффузора . . . . .	0,31

В настоящее время все изготавливаемые и ремонтируемые автомобильные, тракторные и комбайновые двигатели подвергают обкатке на различных режимах и с разной продолжительностью. Значительное снижение продолжительности обкатки наблюдается в автомобильной промышленности. Например, на заводе ВАЗ обкатка двигателей производится без нагрузки на специальных стендах, расположенных вдоль подвижного толкающего конвейера. Кроме того, здесь производят приработку всей выпускаемой продукции.

Ведущими факторами, влияющими на процесс приработки, следует считать температуру на поверхности трущихся деталей, скорость их относительного перемещения и нагрузку. Взаимная приработка деталей проходит при интенсивном выделении тепла в результате деформации трущихся поверхностей и других сил трения, вызывающих начальный износ.

**Виды износа.** Основной вид износа в машинах — окислительный. Современный уровень технической оснащенности и применяемые новые технологические процессы и средства в значительной степени ликвидируют другие нежелательные виды износа.

Разработка рациональных режимов приработки вос-

становленных деталей, узлов, агрегатов и в целом всей машины не может быть объективной, если не изучен характер износа. Начальный износ отремонтированных дизелей происходит в различных условиях.

Поршневое кольцо перед вступлением в контакт подвергается сжатию, а после выхода из контакта — растяжению. Таким образом, на поверхности трения поршневого кольца о поверхность гильзы за один оборот происходят три перемены знака напряжения, в то время как на поверхности неподвижных образцов знак напряжения остается постоянным. Следовательно, перемена знака напряжения является основной причиной износа поршневого кольца. Считают, что деталь с малой площадью уподобляется резцу, на котором образуется нарост, обладающий высокой твердостью и устойчивостью и при определенных температурных условиях изнашивающий деталь с большей площадью. В этом случае разрушение при износе происходит в отдельных слабых местах пятен контакта, создаваемых в результате деформации поверхностного слоя детали. На большой поверхности подобных пятен больше, и потому большая поверхность сильнее изнашивается.

Причину большего износа гильз цилиндров двигателя в сравнении с поршневыми кольцами можно объяснить тем, что путь абразивных частиц в гильзе во много раз больше пути их по кольцу.

Изучая характер износа и факторы, влияющие на износ, ученые и исследователи сделали вывод, что износ  $I$  прямо пропорционален нагрузке  $q$  и обратно пропорционален твердости, т. е.

$$I = q/H,$$

где  $I$  — износ;  $q$  — нагрузка;  $H$  — твердость.

Основные детали отремонтированных дизелей изнашиваются быстрее, чем новые. Поэтому необходимо рассмотреть основные причины, способствующие уменьшению их износостойкости.

## 2. ВЛИЯНИЕ РЕМОНТА НА ВЗАИМНОЕ РАСПОЛОЖЕНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ

Дизели после капитального ремонта имеют отклонения геометрии сопрягаемых поверхностей из-за погрешности измерительного инструмента, низкого каче-



ства имеющегося технологического оборудования и других факторов.

Отремонтированные дизели при сборке комплектуют новыми и старыми деталями, имеющими геометрические отклонения в пределах допуска. Поверхности этих деталей могут иметь различные шероховатость, структуру, геометрию, макро- и микротвердость и т. д. Поэтому после сборки необходима их взаимная приработка.

Основная причина появления отказов двигателей как в период производственной обкатки, так и в условиях эксплуатации заключается в несоблюдении требований нормативно-технической документации при их ремонте.

Анализ качества выполнения технологических операций ремонта на предприятиях, расположенных в различных зонах страны, показал, что уровень дефектности деталей и сборочных единиц отремонтированных двигателей колеблется от 4 до 76 %. При этом более высокий уровень дефектности имеют детали повышенной точности. Так, средняя дефектность деталей и сопряжений кривошипно-шатунного механизма по геометрическим параметрам составляет: максимальный зазор в коренном подшипнике — 76,6 %; зазор в сопряжении гильза — поршень — 70,6 %; диаметр гильзы в зажатом состоянии — 65,5 %; биение фланца маховика — 63,7 %; радиус кривошипа — 59 %; разностенность вкладышей — 47,8 %; овальность коренной шейки — 4 %.

Расчет дефектности производят по формуле:

$$D = K_{\text{н}} / K_0 \cdot 100 \%,$$

### 1. Отклонения от технических требований параметров деталей дизелей при ремонте

Наименование параметра	Максимальный коэффициент превышения нормативного допуска (K)
Овальность поршня	9,0
Минимальный зазор в шатунном подшипнике	8,0
Отклонения радиуса кривошипа	5,9
Овальность гильзы в зажатом состоянии	5,4
Радиус галтели	5,0
Минимальный зазор в сопряжении гильза — поршень	4,0

где  $K_n$  — количество параметров, не соответствующих требованиям ремонтной документации;  $K_o$  — общее количество замеренных параметров.

Детали замерялись на ремонтных предприятиях непосредственно перед их сборкой. При этом были выявлены значительные отклонения параметров от нормативных требований (табл. 1).

Коэффициент превышения нормативного допуска на параметр  $K$  определяют по формуле:

$$K = \Delta\Phi / \delta,$$

где  $\Delta\Phi$  — фактическое отклонение параметра детали или сборочной единицы от нормативного значения;  $\delta$  — поле допуска на параметр.

На рисунке 1 показаны возможные геометрические отклонения в отремонтированных деталях шатунно-поршневой группы и кривошипного механизма дизелей перед сборкой.

Наличие таких отклонений у сопрягаемых деталей может привести к появлению на их рабочих поверхностях высоких удельных давлений (даже в статическом состоянии), которые под влиянием незначительных динамических и тепловых нагрузок вызовут схватывание поверхностных слоев и приведут к отказу типа заклинивание.

Если отклонения направлены на увеличение зазора в сопряжении, могут появиться другие явления (стук подшипников

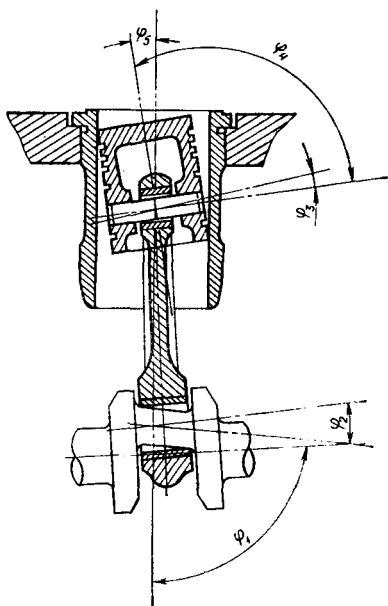


Рис. 1. Схема возможных геометрических отклонений положения детали ГПГ и КПМ в результате ремонтных воздействий:

$\phi_1$  — угол неперпендикулярности оси гильзы цилиндров с осью коленчатого вала;  $\phi_2$  — угол непараллельности оси шатунной шейки с осью вкладышей нижней головки шатуна;  $\phi_3$  — угол непараллельности осей отверстий бобышек поршня с осью втулки верхней головки шатуна;  $\phi_4$  — угол между осью поршня и осью поршневого пальца;  $\phi_5$  — угол неперпендикулярности оси поршня с осью поршневого пальца.

двигателя, повышенный угар масла, снижение мощности и т. д.).

В начале эксплуатации двигателя приработка деталей продолжается и затем стабилизируется на определенном уровне, переходя к медленной трансформации параметров поверхностного слоя.

### 3. ФОРМИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ОБКАТКЕ

Приработка сопрягаемых деталей отремонтированных двигателей характеризуется процессами переноса и перераспределения вещества на трущихся поверхностях, заключающимися в распределении тепловой энергии, энергии импульса и др. Это связано с чисто механическим движением вещества и с тепловым движением его молекул.

Состояние поверхностного слоя во время приработки определяют процессы, возникающие при взаимодействии двух или более поверхностей друг с другом или с окружающей средой, при котором поверхностный слой получает своеобразное строение. При обкатке отремонтированного двигателя

поверхности трущихся деталей формируются в результате разнообразных технологических воздействий. При этом поверхности приобретают необходимую шероховатость. Кроме того, возникает ряд явлений, влияющих на физико-механические свойства поверхностного слоя детали (геометрия слоя, напряжение, возникающее на отдельных участках поверхности и микрообъемах шероховатости, влияние пластической деформации, температурных явлений, окислительных процессов и др.). На рисунках 2 и 3 показано формирование шероховатости поверхностей гильзы цилиндров и поршневого кольца. Для сокращения обозначим эту систему

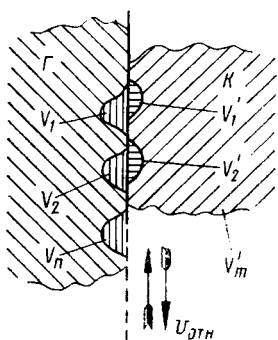


Рис. 2. Взаимодействие макро- и микроскопических подсистем системы  $\Gamma\alpha K$ :

$\Gamma$  — гильза цилиндров;  $K$  — поршневое кольцо;  $V$  — объемы неровностей на поверхности гильзы цилиндров;  $V_1, V_2, \dots, V_n$  — объемы неровностей на поверхности поршневого кольца;  $V'_1, V'_2, \dots, V'_m$  — относительная скорость движения поршневого кольца.

буквами  $\Gamma$  (гильза),  $K$  (поршневое кольцо) и  $\alpha$  (сопряжение).

Микрорельеф поверхностного слоя характеризуется шероховатостью, высотой неровностей  $R_z$  или средним арифметическим отклонением профиля от средней линии  $R_a$  и показывает сложное чередование впадин и выступов. На рисунке 2 показано взаимодействие микрообъемов системы гильза — кольцо, где поверхность гильзы обозначена буквой  $\Gamma$  и объемы —  $V_1, V_2, \dots, V_n$ , тогда, суммируя их по всей поверхности в определенный момент времени, будем иметь

$$V^z = \sum_{i=1}^n V_i(t).$$

Аналогично, обозначая микрообъемы на поверхности  $K$  буквами  $V'_1, V'_2, \dots, V'_m$ , получим

$$V^k = \sum_{i=1}^m V_i(t).$$

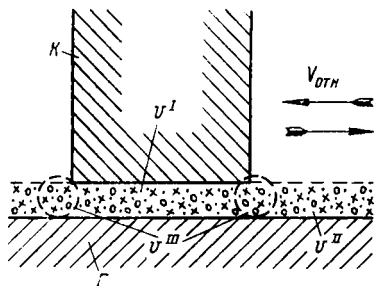
В начальный период приработки в паре  $\Gamma\alpha K$  происходит большое количество физических явлений и эффектов, периодически возникающих и исчезающих при определенных условиях.

Подсистемы  $V^z$  и  $V^k$  системы  $\Gamma\alpha K$  заполнены компонентами, состоящими из смазки с продуктами износа, а также растворенными в ней воздухом и газами. Эти компоненты возникают в процессе износа гильзы и поршневого кольца за счет механического и теплового разрушения в результате микроконтактного схватывания и локального повышения температуры или за счет окислительного разрушения в результате взаимодействия поверхностно-активных веществ смазывающей среды и кислорода воздуха. Могут они возникать также за счет электрических и других явлений.

Подсистема  $\Gamma\alpha K$  — многофазная система: первая фаза — материал гильзы; вторая — смазывающая среда с частицами износа; третья фаза — материал кольца.

В системе  $\Gamma\alpha K$  можно выделить следующие объемы:

- $V^I$  — объем, заключенный между гильзой и поршневым кольцом;
- $V^{II}$  — объем масляной пленки на рабочей поверхности гильзы;
- $V^{III}$  — объем переходной зоны.



Обе поверхности — гильзы и кольца — разделены между собой масляной пленкой (рис. 3). Во время движения кольца в местах плотного соприкосновения его с гильзой масляная пленка может прерваться.

Смазочная среда в зависимости от направления движения поршневого кольца может переходить из одного объема в другой через узкие щели в микроповерхностях обрабатываемых деталей.

Рис. 3. Части системы  $\Gamma aK$ , участвующие в приработке:

$V^I$  — объем, заключенный между гильзой и поршневым кольцом;  $V^{II}$  — объем масляной пленки на рабочей поверхности гильзы;  $V^{III}$  — объем переходной зоны.

Поверхности трущихся деталей системы  $\Gamma aK$  можно представить как совокупность поверхностей, образованных неровностями каждой части системы  $\Gamma aK$ . Тогда микрообъемы  $\Gamma$  и  $K$ , заключенные между профилем кольца, создадут подсистему, которую можно обозначить  $V^\kappa$ . Эти микрообъемы соединены между собой каналами разного сечения (включая капилляры). Величины микрообъемов и соединяющих их каналов являются функциями времени и ряда других факторов. Аналогично подсистеме  $\Gamma aK$  можно выделить подсистему  $V^\Gamma$  микрообъемов на поверхности гильзы.

Объемы  $V^I$  и  $V^{III}$  изменяются в зависимости от времени приработки. Объем  $V^{III}$  значительно меньше объемов  $V^I$  и  $V^{II}$ . Динамика изменения во времени объемов  $V^\kappa$ ,  $V^\Gamma$ ,  $V^I$  показана на рисунке 4.

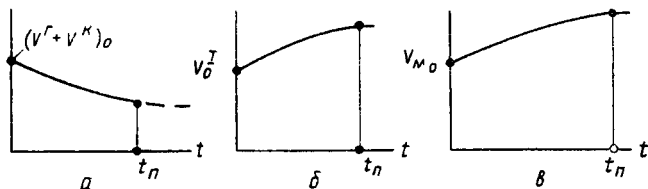


Рис. 4. График изменения объемов в системе  $\Gamma aK$  в зависимости от времени приработки:

$a$  — характер уменьшения объема неровностей на поверхности гильзы цилиндров и поршневого кольца;  $б, в$  — характер увеличения объема между гильзой цилиндров и поршневым кольцом.

Объем  $V^I$  будет складываться из  $V^s + V^k$  и  $V^m$ , где  $V^m$  — объем смазки между Г и К.

В начальный период приработки сумма  $V^s + V^k$  имеет максимальное значение, с течением времени она будет уменьшаться, в то время как общий объем  $V^I$  с увеличением времени приработки будет увеличиваться. В конце приработки объемы  $V^I$  и  $V^{II}$  будут стремиться к постоянным значениям, что свидетельствует о завершении формирования поверхностей.

#### **4. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ДИЗЕЛЯМ ПОСЛЕ ОБКАТКИ**

Каждый отремонтированный дизель должен быть обкатан в соответствии с режимами, указанными в технологической документации на капитальный ремонт. На первом этапе обкатки проверяют работу всех механизмов. В это время происходит приработка трущихся поверхностей деталей, что позволяет кратковременно испытать двигатель на полную мощность и расход топлива, не опасаясь серьезных повреждений трущихся поверхностей деталей.

После завершения обкатки каждый выходящий из ремонта дизель подвергают приемо-сдаточным испытаниям в соответствии с техническими требованиями на конкретный тип дизеля. Контролируемые параметры на основные марки отремонтированных дизелей приведены в таблице 2.

Полная приработка сборочных единиц двигателя завершается в условиях эксплуатации на транспортных и малонагруженных работах.

#### **5. ОЦЕНКА ПРИРАБОТАННОСТИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ ПОСЛЕ ОБКАТКИ**

Современные способы оценки приработанности поверхностей довольно разнообразны. Важным критерием приработываемости рабочих поверхностей деталей дизелей служат механические потери на трение. Установлено, что трение и износ трущихся поверхностей тесно связаны между собой. На процесс изнашивания значительное влияние оказывают характер и величина удельного давления, скоростные и температурные ре-

2. Выходные параметры отремонтированных тракторных и комбайновых дизелей после технологической обкатки (приведены к стандартным условиям)

Марка дизеля	Частота вращения коленчатого вала, с <sup>-1</sup>			Мощность, при номинальной частоте вращения, кВт	Давление масла в магистральной магистрали, кПа	Удельный расход топлива при номинальной мощности, г кВт·ч
	номинальная	на холостом ходу				
		макс	мин			
ЯМЗ-238НБ	28,3 $\begin{smallmatrix} +0,83 \\ -0,33 \end{smallmatrix}$	30,8...32,5	10,0 $\pm 0,83$	159	0,39...0,69	245
СМД-60	33,3	36,3	13,3	111	0,15...0,25	
АО1МД	28,3 $\pm 0,58$	30,6	11,6	95	0,29...0,49	251
Д-108	17,8 $\begin{smallmatrix} +0,41 \\ -0,33 \end{smallmatrix}$	19,0	8,3	80	0,20...0,34	238
СМД-17К, СМД-18К	31,6	34,3	10,0	74	0,24...0,44	265
А-41, СМД-15КФ, СМД-12Б	28,3	32,0	10,0	67	0,29...0,49	251
СМД-14, СМД-14А	28,3 $\begin{smallmatrix} +0,83 \\ -0,33 \end{smallmatrix}$	30,5	10,0	55	0,24...0,44	265
СМД-14К, СМД-7Ф	31,6 $\pm 0,58$	34,1	—	—	—	—
Д-65Н, Д-65М	29,1 $\pm 0,41$	31,3	10,0	44	0,15...0,29	251
Д-60К, Д-60Р	25,0 $\pm 0,49$	28,2 $\pm 0,49$	10,0	44	0,20	285
Д-50, Д-50ЛД	23,3 $\begin{smallmatrix} +0,49 \\ -0,33 \end{smallmatrix}$	30,8	10,0	41	0,20...0,34	265
ЯМЗ-240Б	31,6 $\pm 0,16$	35 $\pm 0,83$	11,6	221	0,44...0,69	251
Д-240, Д-240Л	36,6 $\begin{smallmatrix} +0,66 \\ -0,33 \end{smallmatrix}$	39,7	10,0	59	0,20...0,29	251
Д-54А, Д-48Л	21,6 $\pm 0,49$	23,8 $\pm 0,49$	10,0	40	0,20	279
Д-48М, Д-48ЛС	26,6 $\pm 0,83$	28,7	10,8	37	0,20...0,29	257
Д-37Е, СМД-7ФР	30,0 $\pm 0,45$	32,5	13,3	37	0,15...0,34	258
СМД-7ФК, СМД-7ФМ	25,0 $\pm 0,58$	27,0	—	37	0,20...0,34	272
Д-37Б, Д-37М, Д-21	26,6 $\pm 0,40$	29,2	13,3	30	0,29...0,34	247
	26,6 $\pm 0,40$	29,2	11,6	15	0,24...0,34	258

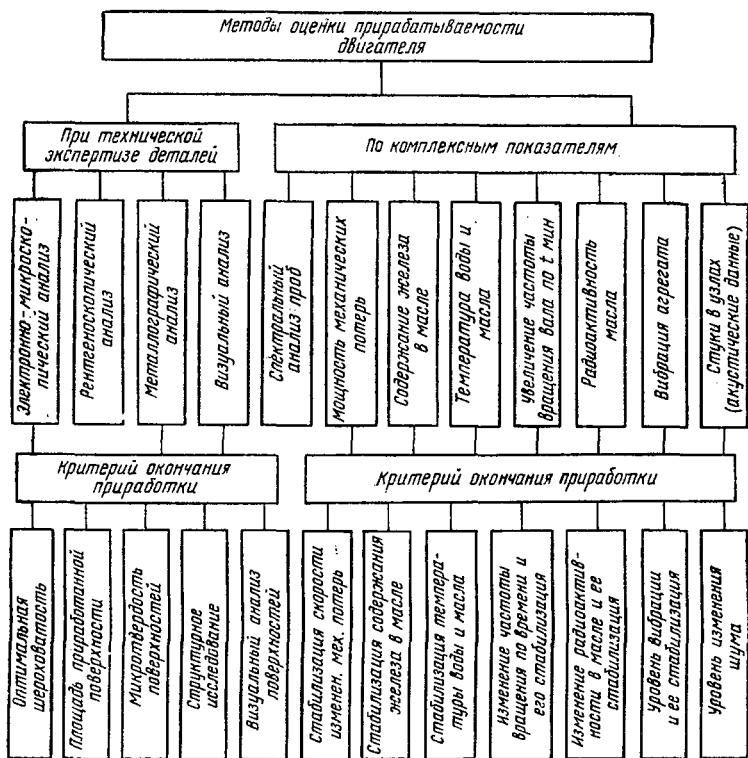


Рис. 5. Схема методов оценки приработываемости двигателей.

жимы, состояние трущихся поверхностей, условия смазки и т. д.

Проблемы начального (приработочного) износа пока изучены недостаточно. Особо следует отметить состояние процесса изнашивания в двигателях внутреннего сгорания при наличии электрофизических явлений, происходящих на поверхности трущихся деталей.

Наибольшую сложность при обкатке двигателей представляет оценка его приработываемости, которую производят после разборки двигателя или без нее (рис. 5). В практике ремонтных предприятий чаще применяют второй способ, который позволяет оценить приработку по состоянию технико-экономических параметров отремонтированных дизелей (эффективная мощ-



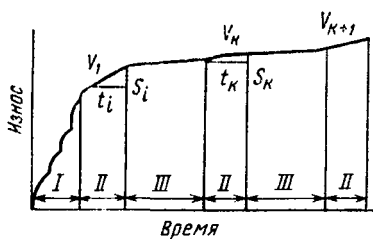


Рис. 6. Кривая износа деталей в зависимости от времени приработки:

I — период приработки; II — работа двигателя с номинальной нагрузкой; III — период полной приработки деталей.

отношение скорости изнашивания поверхности трения после полной приработки детали к скорости изнашивания поверхности той же детали непосредственно после технологической обкатки. При совпадении скоростей изнашивания на одном из режимов значение  $K_{\text{п}}$  должно равняться единице. В этом случае поверхности полностью приработались и готовы для восприятия нормальных эксплуатационных нагрузок. Коэффициент  $K_{\text{п}}$  в процессе приработки изменяется в пределах  $0 < K_{\text{п}} \leq 1$ . Оценка приработанности обычно производится по состоянию поверхности гильзы цилиндров и поршневых колец. На рисунке 6 показана кривая износа поверхности детали в зависимости от степени приработки.

Расчет скорости нарастания изнашивания в этом случае будет:

$$V_i = S_i / t_i,$$

где  $V_i$  — скорость изнашивания поверхности после обкатки, мкм;  $S_i$  — износ трущейся поверхности за время  $t_i$ , мкм;  $t_i$  — время обкатки, мин.

Скорость изнашивания до завершения приработки будет:

$$V_k = S_k / t_k.$$

Здесь  $V_k$ ,  $S_k$  — скорость и износ после полной приработки поверхностей за время  $t_k$ .

Тогда коэффициент  $K_{\text{п}}$  будет:

$$K_{\text{п}} = V_k / V_i.$$

ность, удельный расход топлива, расход масла, механические потери, температура воды и масла и т. д.).

Оценка приработанности с разборкой дает более полное представление о качестве приработки (стабилизация процесса и скорости изнашивания). Качество обкатки двигателей при этом характеризуется безразмерным коэффициентом  $K_{\text{п}}$ , представляющим собой от-

Подставляя в это выражение значения  $V_i$  и  $V_{\text{н}}$  и принимая  $t_i = t_{\text{к}}$ , получают

$$K_{\text{п}} = S_{\text{к}}/S_i.$$

Как видно из приведенных расчетов, способ оценки приработанности по коэффициенту  $K_{\text{п}}$  довольно сложен. Поэтому на практике обычно используют упрощенные методы, при которых приработанность двигателей оценивается путем проведения микрометража или определения износа по уменьшению веса детали, а также по изменению размера лунки, вырезанной на ее поверхности, или по увеличению угара масла (пропуска газов) и т. д.

**Оценка качества поверхностей деталей по стабилизации механических потерь.** На производстве и для исследований применяют: индикаторный метод; метод прокручивания двигателя от постороннего источника энергии с замером затрачиваемой мощности (метод прокрутки); метод последовательного выключения отдельных цилиндров на тормозном стенде (тормозной метод).

Для более точного определения мощности механических потерь используют метод индицирования двигателя.

Наиболее часто применяют метод оценки приработанности двигателей по степени снижения показателей механических потерь при бестормозных испытаниях двигателей. Этот метод был разработан и внедрен доктором технических наук, профессором Н. С. Ждановским. Этот способ по сравнению с другими менее трудоемок. Он позволяет достаточно точно определять механические потери в процессе обкатки двигателей.

# 2

## МЕТОДЫ УСКОРЕННОЙ ОБКАТКИ ОТРЕМОНТИРОВАННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

### 1. СПОСОБЫ УСКОРЕННОЙ ОБКАТКИ

В практике работы моторостроительных заводов и ремонтных предприятий серьезно встает вопрос о разработке и внедрении ускоренных методов обкатки двигателей. Ускоренные методы обкатки развивались в зависимости от общего уровня научно-технического прогресса, разработки новых материалов и средств производства. Развитие ускоренных методов обкатки началось с внедрением маловязких смазок (2%-ный эмульсол на водном р-ре) при холодной и эксплуатационной смазке при горячей обкатке. Процесс приработки при этом значительно ускорился, а качество трущихся поверхностей оставалось хорошим. Позднее была разработана методика ускоренных испытаний дизелей на масле с добавлением 0,9...1,1 % сернистой присадки ОД-7, разработанной в Институте органического синтеза АН Латвийской ССР. Применение такого способа обеспечивало полную приработку трущихся деталей за довольно короткое время. Имеются и другие форсированные способы ускоренной обкатки дизелей, основанные на изменении скоростных и нагрузочных режимов, температурного состояния прирабатываемых деталей двигателей и др.

Существует четыре основных направления применения ускоряющих элементов для ускоренной приработки двигателей:

использование специальных обкаточных (ОМ-2) и обкаточно-консервационных (ОКМ) масел с введением в них серосодержащих присадок и других поверхностно-активных элементов;

введение специальных присадок (АЛП-2, АЛП-3, АЛП-4 и др.), содержащих органические и минеральные вещества, в дизельное топливо;

прямое введение в смазочное масло мелкодисперсной абразивной присадки (специально подготовленный каолин);

введение в зону трения электрического тока.

Перечисленные методы ускоренной приработки двигателей основаны на абразивном изнашивании и повышении поверхностного окисления за счет применения поверхностно-активных элементов, способствующих быстрому завершению процесса приработки. Каждый такой метод должен быть простым и надежным в применении, безопасным для окружающей среды, экономически выгодным, давать постоянные результаты, не иметь побочных явлений, увеличивающих износ двигателей в период эксплуатации. В настоящее время на все способы ускоренной обкатки двигателей разработаны и изданы массовым тиражом руководящие технические материалы с указанием режимов по двигателям соответствующих марок.

## **2. УСКОРЕННАЯ ОБКАТКА ДВИГАТЕЛЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ОСЕРНЕННОЙ ПРИСАДКИ В КАРТЕРНОМ МАСЛЕ**

Обкатка двигателей с применением осерненной присадки в картерном масле разработана Г. П. Шароновым\*. При такой обкатке в качестве присадки используется раствор коллоидной серы в концентрации 0,9...1,1 %. Результаты исследований показали, что приработка ускоряется при минимальном начальном износе. Однако активные серосодержащие противозадирные присадки способствуют значительному повышению дальнейшего износа по сравнению с маслами без присадок. Кроме того, масла с большим содержанием серы (ИС-45, ДС-11) обладают большей коррозионностью, чем масла с малым содержанием серы (МС-20, МК-22, СУ).

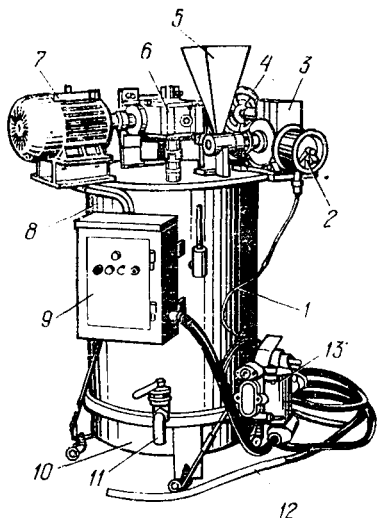
**Результаты испытаний.** В Государственном научно-исследовательском и проектно-технологическом институте ремонта и эксплуатации машинно-тракторного парка (ГОСНИТИ) проведены исследования по изучению данного способа. Изучены методические вопросы, изготовлена необходимая оснастка для приготовления присадки. На рисунке 7 показана установка для пригото-

---

\* Исследование ускоренной приработки автотракторных двигателей. — Дисс. на соиск. уч. степ. докт. техн. наук. — Л.: 1967.

Рис. 7. Установка для изготовления серосодержащей присадки к маслам:

1 — бак с двойной стенкой со смесителем и теплоизоляцией из листового асбеста; 2 — термометр дистанционный; 3 — редуктор дозатора серы; 4 — электродвигатель дозатора серы; 5 — дозатор серы с бункером; 6 — редуктор мешалки присадки; 7 — электродвигатель мешалки; 8 — вал мешалки; 9 — щиток управления; 10 — спираль для подогрева; 11 — кран для отбора присадки; 12 — кабель для подвода электроэнергии; 13 — ручной насос для заполнения бака маслом.



ления сернистой присадки. Приготовление присадки — трудоемкий процесс, связанный с затратами электрической энергии для нагрева осерняемой смазки (до 150...

...160°C) в течение 26 ч при постоянном перемешивании. В этих условиях элементарная сера переходит в связанное состояние. Во время изготовления присадки необходимо соблюдать большую осторожность, так как при высокой температуре сера взаимодействует с углеродом, выделяя сероводород, вредно действующий на организм человека. Поэтому необходимо, чтобы установка для приготовления присадки располагалась под зонтом с принудительной вытяжкой.

Исследования проводились в два этапа.

Первый этап — модельные исследования на отремонтированных дизелях СМД-14 в лабораторных условиях. При лабораторных исследованиях определяли шероховатость прирабатываемых поверхностей до и после испытаний методом профилометрирования и профилографирования, а также износы деталей гильзо-поршневой группы и кривошипно-шатунного механизма методом искусственных баз с помощью приборов УПОИ-6 и УПОИВ-2.

Второй этап — разработка соответствующей технологии ускоренной полной приработки дизелей на осерненных маслах. Данная технология была временно внедрена на Малоярославецком опытном заводе ГОСНИТИ, где по ней приработано более 200 двигателей, направ-

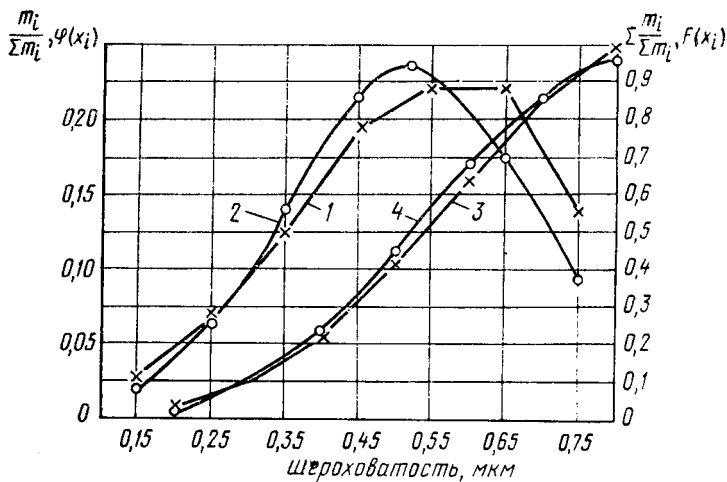


Рис. 8. Распределение шероховатости поверхностей гильз цилиндров дизелей СМД-14 после приработки на масле с присадкой серы:

1 — эмпирическая кривая; 2 — расчетная (выравненная) кривая; 3 и 4 — интегральные функции распределения кривых 1 и 2.

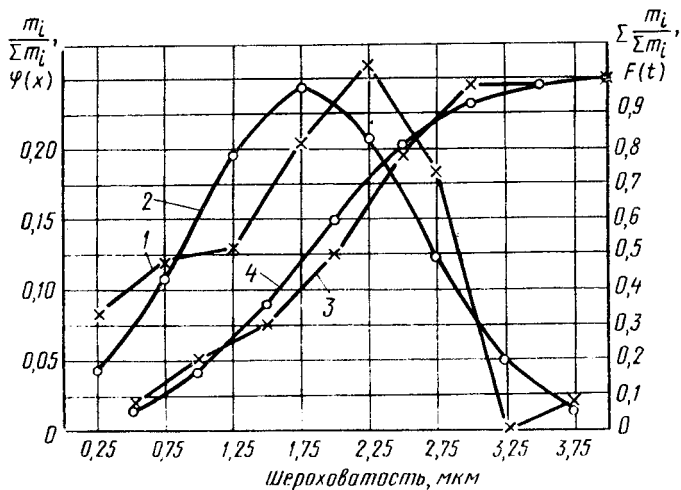


Рис. 9. Распределение шероховатости поверхностей компрессионных колец дизелей СМД-14 после приработки с присадкой серы:

1, 2 — экспериментальная и выравненная кривые распределения; 3 и 4 — интегральные функции кривых распределения 1 и 2.

ленных в колхозы и совхозы Калужской области для эксплуатационной проверки. За работой двигателей был установлен контроль по актам рекламаций с мест эксплуатации и возврат на ремзавод для повторного ремонта. Результаты наблюдений дизелей, приработанных на масле с присадкой серы, сравнивались с результатами того же количества дизелей, обкатанных на эксплуатационном серийном масле.

**Шероховатость** деталей гильзо-поршневой группы после приработки на масле с присадкой серы (с содержанием коллоидной серы от 0,9 до 1,1 %) определялась по той же методике, что и эталонных дизелей. На рисунках 8 и 9 приведены кривые распределения шероховатости по результатам стендовых испытаний дизелей СМД-14, показывающие, что шероховатость поверхностей гильз цилиндров ниже, чем у эталонных дизелей.

Среднее значение шероховатости гильз ( $\bar{x}$ ) составляет 0,52 мкм при отклонении среднеквадратической величины  $S = \pm 0,17$  мкм.

Из 72 выборок 23 повторности попадают в предел шероховатости от 0,35 до 0,45 мкм, что соответствует 8-му классу чистоты, а 42 повторности попадают в предел шероховатости от 0,55 до 0,75 мкм, что соответствует 7-му классу чистоты поверхности. Эти данные показывают, что шероховатость поверхности гильз, приработанных на осерненной смазке, значительно ухудшилась по сравнению с первоначальным состоянием. Если у новых гильз средняя шероховатость  $\bar{x}$  равнялась 0,42 мкм, то после трехчасовой приработки на осерненном масле она составила 0,52 мкм (т. е. повысилась на 0,1 мкм).

Шероховатость ухудшается за счет неравномерного распределения сульфидной корки, образующейся на поверхностях гильз и поршневых колец.

**Износ гильз цилиндров и поршневых колец** двигателей СМД-14 при обкатке с присадкой коллоидной серы показан графически на рисунках 10, 11 и 12 в виде кривых распределения, где под номерами 1 приведены эмпирические и под номерами 2 — теоретические данные, а под номерами 3 и 4 нанесены их интегральные значения. В основу положены результаты измерений износа лунок, нанесенных на трущихся поверхностях гильз цилиндров и поршневых колец с последующим определением математического ожидания (среднее значе-

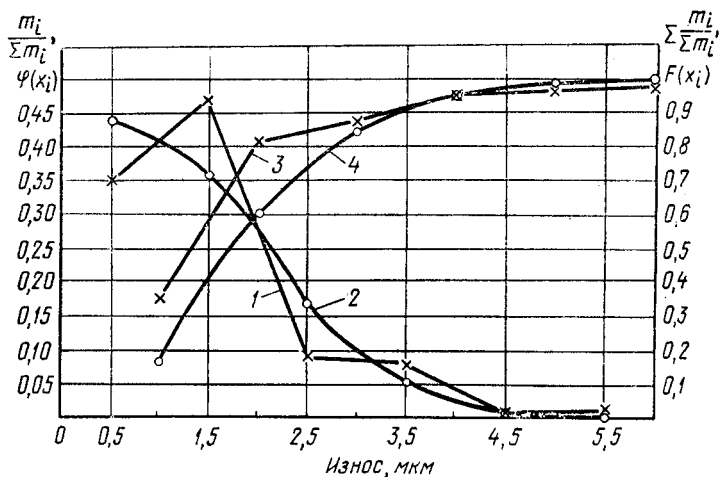


Рис. 10. Распределение износа поршневых колец дизелей СМД-14 после приработки на масле с присадкой серы: 1 и 2 — экспериментальная и выравненная кривые распределения; 3, 4 — интегральные функции кривых распределения 1 и 2.

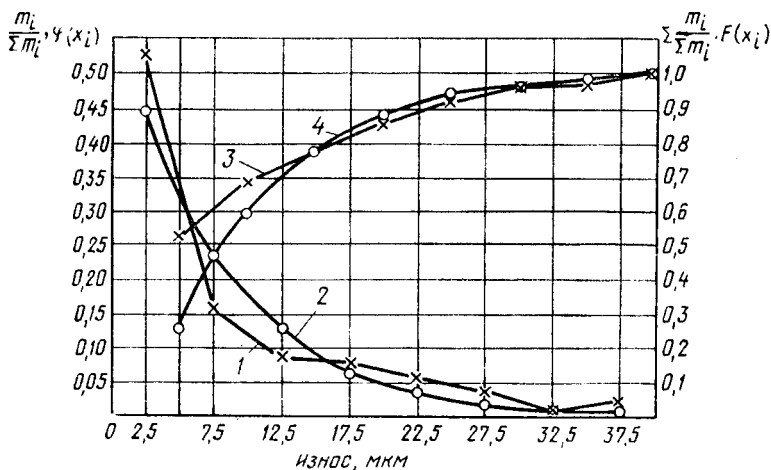


Рис. 11. Распределение износа поршневых колец дизеля СМД-14, обкатанных без присадки в дизельное масло: 1 и 2 — экспериментальная и выравненная кривые распределения; 3 и 4 — интегральные функции кривых распределения 1 и 2.



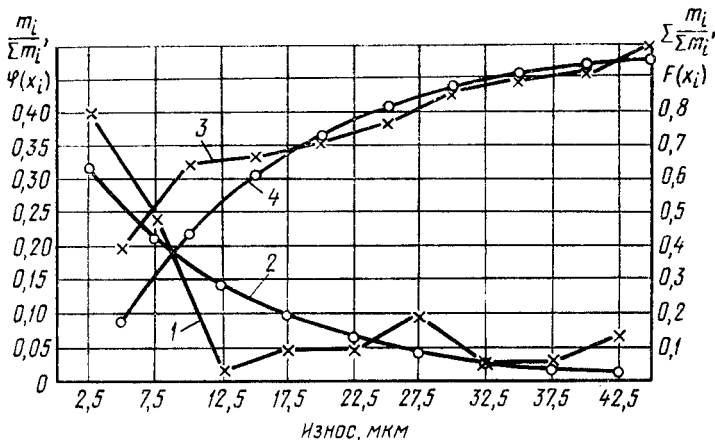


Рис. 12. Распределение износа поршневых колец дизеля СМД-14, обкатанных без присадки в дизельное масло:

1 и 2 — экспериментальная и выравненная кривые распределения; 3 и 4 — интегральные функции кривых распределения 1 и 2.

ние, характеристики рассеивания, среднеквадратическое отклонение  $S$ ).

Результаты анализа кривых распределения износа гильз цилиндров и поршневых колец показывают, что износ деталей гильзо-поршневого и кривошипно-шатунного механизмов как у двигателей, обкатанных с присадкой серы в картерное масло, так и у двигателей, обкатанных без присадки, находится в пределах ошибки измерительного инструмента. При этом износ поршневых колец протекает неравномерно и несколько интенсивнее, чем износ гильз цилиндров.

### 3. УСКОРЕННАЯ ОБКАТКА ДВИГАТЕЛЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ СПЕЦИАЛЬНЫХ МАСЕЛ ОМ-2 И ОКМ

Обкаточные масла ОМ-2 и ОКМ (обкаточно-консервационное масло), разработанные Научно-производственным объединением по тракторостроению (НАТИ) совместно с Институтом нефтехимического синтеза (ИНХС) АН СССР и опытным нефтемаслозаводом им. Шаумяна (ЛОИМЗ), применяются главным образом на заводах-изготовителях, в частности на Владимирском тракторном заводе. Основу обкаточных масел

ОМ-2 и ОКМ составляет дизельное масло ДС-8. Для обеспечения лучших приработочных свойств в состав масел ОМ-2 и ОКМ введены поверхностно-активные химические элементы (сера, хлор, фосфор), которые растворяются в минеральных маслах.

Основные составляющие элементы масла ОМ-2 следующие: масло ДС-8 с добавкой присадок дипроксиды  $2,5 \pm 0,1$  %; ПМСЯ или ПМС —  $2,0 \pm 0,2$  %; ЦИАТИМ-339 —  $2,0 \pm 0,1$  %; ПМС-200 —  $0,003 \pm 0,0005$  %.

Оптимальная композиция присадок, входящих в состав обкаточно-консервационного масла (ОКМ), следующая: МАСК-Х<sub>1</sub> (от 0 до 12 %); ПМСЯ-Х<sub>2</sub> (от 0 до 12 %); ЛЗ-301-Х<sub>3</sub> (от 0 до 6 %); В-15/41-Х<sub>4</sub> (от 0 до 1 %); М-8 (0,003 %); ПМС-200А-Х<sub>5</sub> (от 88 до 100 %).

**Результаты испытаний.** Рекомендованные ИАТИ обкаточные масла ОМ-2 и ОКМ были испытаны на отремонтированных дизелях СМД-14. Лучшие результаты были получены при испытании обкаточно-консервационного масла (ОКМ), имеющего хорошие приработочные свойства.

Для получения сравнительных показателей на Мало-ярославецком опытном заводе ГОСНИТИ были обкатаны по 112 отремонтированных дизелей СМД-14 при оди-

### 3. Результаты экспертизы коренных и шатунных вкладышей и гильз\* при обкатке отремонтированных дизелей СМД-14 на масле М10Г

№ двигателя	Средняя площадь приработанной поверхности, %	
	коренные вкладыши	шатунные вкладыши
2089	11	37,5
2134	24	49
2139	80	32
2198	60	75
2177	17	87,5
2269	84	80
1	52,5	52
24	46	67,5
18	70	49
12	82	72,5
Среднее арифметическое значение	52,6	60,2

\* Гильзы покрыты нормальной сеткой продольных и поперечных рисок. Их приработка еще не завершена.

**4. Результаты экспертизы коренных и шатунных вкладышей и гильз при обкатке отремонтированных дизелей СМД-14 на обкаточно-консервационном масле ОКМ**

№ двигателя	Средняя площадь приработанной поверхности, %	
	коренные вкладыши	шатунные вкладыши
2221	100	100
2024	74	100
37	100	99
160	93	100
202	96	100
249	62	100
251	35	100
277	94	72
289	70	100
299	100	100
Среднее арифметическое значение	82,4	97,1

наковых режимах с применением двух видов смазки — масла М10Г (эталон) и ОКМ.

Основные параметры (скорость вращения дизеля, нагрузка, механические потери, температурный режим и другие технико-экономические параметры) замеряли с помощью соответствующих приборов. Каждый десятый дизель частично разбирали и осматривали, замеряя площади приработанной поверхности коренных и шатунных подшипников и гильз цилиндров. Результаты экспертизы приведены в таблицах 3 и 4.

Сравнительные показатели распределений мощностей механических потерь при обкатке дизелей СМД-14 на маслах М10Г и ОКМ даны в таблице 5.

При выборе присадок учитывали основные требования к обкаточным маслам (стабильное обеспечение механических потерь на трение, хорошие приработочные, антизадирные и моющие свойства). Кроме указанных свойств, масло должно обладать защитными (консервационными) свойствами внутренности дизелей после завершения обкатки.

**4. УСКОРЕННАЯ ОБКАТКА ДВИГАТЕЛЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРИСАДКИ АЛП-2 К ДИЗЕЛЬНОМУ ТОПЛИВУ**

Присадка АЛП-2 к дизельному топливу представляет собой 30%-ный раствор органополиалюмооксана в ди-

5. Показатели распределений мощностей механических потерь при обкатке дизелей СМД-14 на маслах М10Г и ОКМ

Время от начала обкатки, мин	Скорость вращения, $c^{-1}$	Количество опытов		Среднее арифметическое значение мощности (X) кВт		Среднее квадратическое отклонение ( $\sigma$ ), кВт	
		масло М10Г	масло ОКМ	масло М10Г	масло ОКМ	масло М10Г	масло ОКМ

*Холодная обкатка без компрессии*

0	16,6	95	103	15,77	16,30	2,50	2,60
15	16,6	88	104	12,78	12,80	2,11	2,11
30	16,6	88	106	11,91	12,14	2,21	2,09
30	23,3	99	107	22,40	23,31	3,29	3,98
40	23,3	85	106	21,04	21,00	3,33	3,30
50	23,3	83	103	20,74	20,61	3,40	3,00

*Холодная обкатка с компрессией*

50	23,3	96	106	20,00	20,30	2,06	2,28
60	23,3	83	105	18,86	18,60	1,73	1,40
70	23,3	80	98	18,50	18,24	1,54	1,52

*Испытание*

90	28,3	82	86	58,10	58,2	2,20	2,66
----	------	----	----	-------	------	------	------

*Прокручивание после испытаний без компрессии*

90	16,6	83	101	9,30	9,62	2,26	2,36
----	------	----	-----	------	------	------	------

*Прокручивание после испытаний с компрессией*

90	16,6	83	101	9,84	9,86	1,55	1,32
----	------	----	-----	------	------	------	------

зельном масле ДС-8 или ДС-11. Основные характеристики присадки АЛП-2 приведены в таблице 6.

Приработка деталей при обкатке двигателей с присадкой АЛП-2 ускоряется за счет абразивного действия продуктов сгорания присадки. При сгорании топлива присадка выпадает в камере сгорания и на стенках гильз цилиндров в виде белого порошка, который легко превращается в притирочную пасту (окислы алюминия).

Присадка АЛП-2, как правило, не оказывает отрицательного влияния на детали топливной аппаратуры. Однако в некоторых случаях наблюдаются повышенный износ игл распылителей форсунок, износ и заедание плунжерных пар топливных насосов. Кроме того, счи-

## 6. Характеристика элементоорганической присадки АЛП-2

Показатели характеристики	Показатели оценки
Внешний вид	Прозрачная вязкая жидкость желтовато-коричневого цвета
Кинематическая вязкость при 100 °С, сСт	20
Содержание алюминия, %	1,7... 2,0
Содержание механических примесей, %	0,1
Растворимость в маслах ДС-8, ДС-11 и в топливе	Полная
Фильтруемость раствора присадки в топливе	9,0
Температура застывания, °С	—5, —10

тают, что одной из причин этих дефектов является высокая коррозионная агрессивность присадок из-за наличия меркаптановой серы. При использовании присадок АЛП-2 к топливу на распылителях образуются отложения, ухудшается производительность форсунок, нарушается процесс сгорания и происходит падение мощности дизеля.

Несмотря на указанные выше недостатки, применение присадки для обкатки отремонтированных дизелей эффективно. Исследования, выполненные ГОСНИТИ и его Малоярославецким филиалом, показали, что присадка АЛП-2 оказывает значительное влияние на ускорение приработки дизелей, поэтому разработанный способ был рекомендован для внедрения на ремпредприятиях системы Госкомсельхозтехники СССР.

Технологический процесс состоит в том, что присадку АЛП-2 добавляют в расходный бак с дизельным топливом (в концентрации 1 %) по весу автоматически с помощью смесительно-дозировочного устройства (СДУ), являющегося составной частью централизованной системы обеспечения маслом, топливом и водой обкаточно-испытательной станции мотороремонтного предприятия.

Технологический процесс обкатки двигателей с применением присадки АЛП-2 выполняется по режимам, представленным в таблице 7.

Дизели, снабженные механизмом декомпрессии, обкатывают в течение первых 5 мин без компрессии.

Работа дизелей должна удовлетворять следующим требованиям: давление масла в главной масляной ма-

## 7. Режимы обкатки

Этап работы	Частота вращения коленчатого вала, % от номинальной	Продолжительность, мин
Холодная обкатка	40±5	5
	60±5	5
	80±5	5
Горячая обкатка: холостой ход	Плавное изменение от номинально-устойчивой до максимальной	10
под нагрузкой в % от номинальной:		
25±2	Соответствующая полной подаче топлива	15
50±2		20
70±2		35
90±2		15

гистралами при минимальной частоте вращения коленчатого вала должно быть не менее 0,1...0,15 МПа; температура масла и охлаждающей воды — 60...85 °С; не допускается подтекание воды и масла, а также резкий стук и шум в механизмах дизеля.

## 5. УСКОРЕННАЯ ОБКАТКА ДВИГАТЕЛЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕЛКОДИСПЕРСНОЙ АБРАЗИВНОЙ ПРИСАДКИ

**Мелкодисперсная абразивная присадка.** Способ применения мелкодисперсной порошковой присадки был предложен Институтом неорганической химии АН БССР. Он заключается в использовании мелкодисперсного притирочного порошка (присадки), приготовленного обжигом (при 700...800 °С) каолина, добавляемого в картерное масло при размешивании (4...5 г на 1 л масла). По данным авторов, присадка обеспечивает 100%-ную приработку.

Механизм действия присадки авторы объясняют тем, что мелкодисперсный порошок размером 0,1...1,0 мкм заполняет микронеровности трущихся поверхностей, препятствуя тем самым появлению задиров, и уменьшает износ. Попадая между трущимися деталями, присадка укатывает поверхность и активно адсорбирует смолистые и кислые продукты подгорания масла. Приработку выполняют при застопоренной центрифуге или при установленной на двигатель технологической центрифуге со сниженной скоростью вращения ротора.

**Технологический процесс.** Присадку добавляют в картерное масло в количестве 4...5 г на литр. Необходимую дозу отмеряют либо взвешиванием, либо мерным сосудом (насыпной вес присадки принимается  $0,7 \text{ г/см}^3$ ). Взвешенную (отмеренную) присадку высыпают в стеклянный или металлический сосуд объемом 0,5 л. Туда же заливают масло и тщательно размешивают до получения однородной массы. В таком состоянии присадка может храниться несколько дней.

Перед введением в картерное масло приготовленную смесь размешивают и вливают в ведро, содержащее необходимое количество масла. Готовую смесь масла с присадкой заливают в двигатель.

Присадка активно адсорбирует смолистые и кислые продукты подгорания масла. При этом размеры ее частиц увеличиваются и не проходят через центробежные фильтры двигателя и централизованной системы подачи масла. В связи с этим следует стопорить центрифугу двигателя или применять технологическую центрифугу со сниженной скоростью вращения ротора ( $25,0...33,3 \text{ с}^{-1}$ ) за счет расверливания ее жиклеров. Через щелевые фильтры тонкой очистки присадка не проходит.

Низкая стоимость присадки позволяет использовать ее один раз. Смесь готовят из расчета на дневную норму и подают в каждый двигатель необходимой дозой (по 0,5...1 л масла с расчетным количеством присадки для данного типа двигателей). Присадку отделяют от масла при сдаточных испытаниях на центрифуге двигателя или на фильтрах централизованной системы.

После остановки двигателя картерное масло сливают в горячем виде. Масляную систему от оставшихся следов присадки промывать не следует. Если в масляном картере имеется стружка, песок или абразивы, картер следует промыть.

**Рекомендуемые режимы** приработки двигателей приведены в таблице 8. Эти режимы можно менять в зависимости от условий испытательных станций. При этом степень приработки не должна уменьшаться (85...95 % поверхности).

Применение такой присадки для ускоренной приработки двигателей относится к чисто абразивным методам форсированного начального износа. Абразивные методы ускорения приработки давно известны, но не нашли в производстве широкого применения ввиду за-

## 8. Режимы обкатки тракторных двигателей

Режим обкатки	СМД-14			Д-48			Д-65			Д-50		
	частота вращения, с <sup>-1</sup>	нагрузка, кВт	время, мин	частота вращения с <sup>-1</sup>	нагрузка, кВт	время, мин	частота вращения, с <sup>-1</sup>	нагрузка, кВт	время, мин	частота вращения, с <sup>-1</sup>	нагрузка, кВт	время, мин
Холодная без компрессии	10,0... 11,6	—	15	10,0	—	5	10,8	—	5	8,3... 12,4	—	5
	15,0... 16,6	—	15	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	21,6... 23,3	—	15	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	21,6... 23,3	—	5	15,0... 16,6	—	10	15,0... 16,6	—	10	13,3... 16,6	—	10
Горячая без нагрузки	23,3... —	—	5	18,3... 20,6	—	10	15,0... 16,6	—	10	13,3... 16,6	—	10
Горячая под нагрузкой	—	$1,84 \times 10^4$	10	25,0... 26,6	—	10	29,2	$0,73 \times 10^4$	10	28,3	—	10
	—	$3,09 \times 10^4$	10	28,3... 29,2	—	5	31,6	$1,84 \times 10^4$	15	30,0	—	5
	—	$4,4 \times 10^4$	5	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Испытание	$4,78 \times 10^4$	5	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Номинальная		5	Номинальная		5	Номинальная		5	Номинальная		5
Итого			90			45						45



грязнения внутренней полости системы очистки масла, ловушек коленчатого вала и лабиринтов двигателя мелкими абразивами, которые в условиях эксплуатации могут продолжать износ деталей, снижая межремонтный ресурс.

## **6. УСКОРЕННАЯ ОБКАТКА ДВИГАТЕЛЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА**

**Общие сведения.** Приработка отремонтированных дизелей с подачей электрического тока находит широкое применение на ремонтных предприятиях Госкомсельхозтехники СССР.

Для обоснования технологического процесса обкатки с использованием электрического тока были проведены сравнительные экспериментальные исследования на отремонтированных дизелях СМД-14 и Д-50. Для измерения потенциалов на гильзах цилиндров без подачи и с подачей дополнительного электрического тока к трущимся деталям применялось осциллографирование. Поверхностная структура образцов гильз цилиндров и поршневых колец изучалась методами растровой электронной микроскопии и рентгеноскопии; изменения шероховатости — методом профилографирования; микроизносы деталей — методом вырезанных лунок. В результате была разработана конструкторско-технологическая документация, изготовлено оборудование и результаты исследований внедрены в ремонтное производство. Изучение данного вопроса требует дальнейших исследований в направлении физики и механизма пробоя масляной и окисной пленки на поверхности прирабатываемых деталей.

**Электрические явления в парах.** Появление ЭДС в твердых телах вследствие увлечения элементарных носителей электрического заряда связано с волновым характером механических напряжений. Участки фактического контакта сопряженных поверхностей в начальный период приработки деформируются, что вызывает появление ЭДС.

Острые шероховатости, где сосредоточен максимальный электрический заряд, следует рассматривать как термопару и как источник образования ЭДС трущейся пары в обкатываемых двигателях.

Подключение внешнего источника электричества той

же полярности может вызвать существенное увеличение суммарного напряжения на остриях шероховатости. Такое изменение напряженности в местах сближения может вызвать разряд, сопровождающийся локальным повышением температуры на микроучастке и отъемом некоторой части металла и вызывающий образование кратера на прирабатываемой поверхности (например, гильзы цилиндров). Данный эффект и был использован для ускорения процесса приработки деталей отремонтированных дизелей.

**Обкатка двигателей с использованием электрического тока.** При разработке технологического процесса обкатки дизелей с применением электрического тока максимально был использован опыт промышленности по применению электрофизических и электрохимических методов обработки металлов, особенно в металлорежущей промышленности, где ведется борьба с уменьшением износа режущего инструмента.

Многие ремонтные заводы широко применяют современные методы электрофизической обработки металлов (упрочнение поверхностей, нанесение упрочняющих покрытий и т. д.). Такая обкатка представляет собой разновидность электромеханической обработки прирабатываемых поверхностей деталей гильзо-поршневой группы и кривошипно-шатунного механизма. Она позволяет получить достаточно высокое качество прирабатываемой поверхности деталей.

Большинство операций электрофизической обработки металлов (за исключением упрочняющих) осуществляется в жидкой среде. Обкатка с применением электрического тока происходит в масляной среде, так как каждая прирабатываемая деталь на поверхности имеет масляную пленку — своего рода диэлектрик. Подаваемый электрический ток проходит по деталям и распределяется пропорционально в зависимости от сопротивления трущейся пары. Распределение электрического тока по отдельным сборочным единицам гильзо-поршневой группы и кривошипно-шатунного механизма требует более детального рассмотрения.

**Распределение электрического тока по основным деталям двигателя при обкатке.**

Экспериментальная проверка распределения электрического тока, возникающего в гильзах цилиндров обкатываемого двигателя, а также подводимого от внеш-

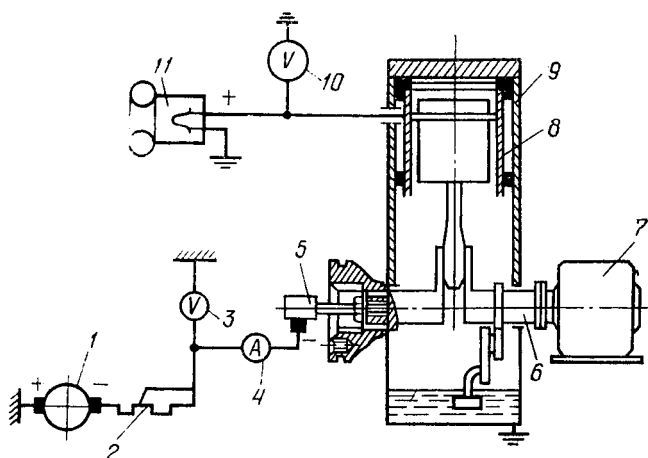


Рис. 13. Схема экспериментальной установки для определения электрических величин в гильзах цилиндров двигателей:

1 — источник тока; 2 — реостат; 3 — вольтметр; 4 — амперметр; 5 — токосъемник; 6 — коленчатый вал; 7 — электродвигатель; 8 — гильза цилиндров; 9 — блок цилиндров; 10 — вольтметр; 11 — осциллограф.

него источника, показала, что его величина во всех цилиндрах одинакова.

Для измерения степени влияния электрического тока на трущиеся поверхности гильзы цилиндров и проведения осциллографических записей на экспериментальной установке (рис. 13) обкатывались двигатели с изолированными гильзами.

Для этого с посадочных мест гильзы снимался слой металла толщиной 1 мм. Затем посадочные места покрывались эпоксидной смолой, и после ее затвердевания гильзы протачивались до нормального размера.

Для записей электрических параметров ( $U$ ,  $I$ ), возникающих на гильзе, использовался многокомпонентный осциллограф К12-21.

На осциллографе записывались характерные точки режима приработки в зависимости от числа оборотов коленчатого вала, подаваемого напряжения, температуры воды и масла. Результаты исследований распределения электрического тока по гильзам цилиндров приведены в таблице 9.

9. Результаты замеров потенциала на гильзах цилиндров, изолированных друг от друга (при числе оборотов 15,0 с<sup>-1</sup>)

Напряжение в цепи коленчатый вал-блок, В	Температура, °С		Потенциал гильз, В				
	воды	масла	номера гильз				среднее
			1	2	3	4	
0,2	50	40	0,13	0,14	0,12	0,14	0,13
0,2	60	50	0,18	0,19	0,17	0,15	0,17
0,2	70	60	0,24	0,25	0,23	0,21	0,23
0,2	80	70	0,25	0,26	0,25	0,25	0,25
0,4	50	40	0,17	0,18	0,21	0,18	0,19
0,4	60	50	0,25	0,25	0,16	0,18	0,20
0,4	70	60	0,27	0,28	0,25	0,25	0,26
0,4	80	70	0,27	0,26	0,27	0,27	0,27
0,6	50	40	0,24	0,25	0,21	0,18	0,21
0,6	60	50	0,23	0,25	0,19	0,16	0,20
0,6	70	60	0,26	0,27	0,28	0,25	0,26
0,6	80	70	0,27	0,26	0,30	0,32	0,29
0,8	50	40	0,23	0,25	0,21	0,21	0,22
0,8	60	50	0,21	0,23	0,21	0,23	0,22
0,8	70	60	0,29	0,25	0,30	0,29	0,28
0,8	80	70	0,27	0,25	0,30	0,29	0,28

Согласно закону Кирхгофа, в каждой точке разветвления цепи, в которой соприкасаются между собой 1, 2, ..., n проводников, несущих соответственно токи ( $I=1, 2, \dots, n$ ), алгебраическая сумма сил токов, протекающих к точке разветвления цепи, равняется нулю.

$$\sum_{i=1}^n I_i = 0.$$

Обкатка двигателей с применением электрического тока схематически представлена на рисунке 14, а, где пары трения:

I<sup>I</sup>, I<sup>II</sup>, I<sup>III</sup>, I<sup>IV</sup> — коренные подшипники коленчатого вала и вкладыши;

II<sup>I</sup>, II<sup>II</sup>, II<sup>III</sup>, II<sup>IV</sup> — шатунные шейки коленчатого вала и вкладыши;

III<sup>I</sup>, III<sup>II</sup>, III<sup>III</sup>, III<sup>IV</sup> — поршневые пальцы и втулки верхней головки шатунов;

IV<sup>I</sup>, IV<sup>II</sup>, IV<sup>III</sup>, IV<sup>IV</sup> — поршневые пальцы и бобышки поршней;

VI<sup>I</sup>, VI<sup>II</sup>, VI<sup>III</sup>, VI<sup>IV</sup> — гильзы цилиндров, поршни и поршневые кольца.

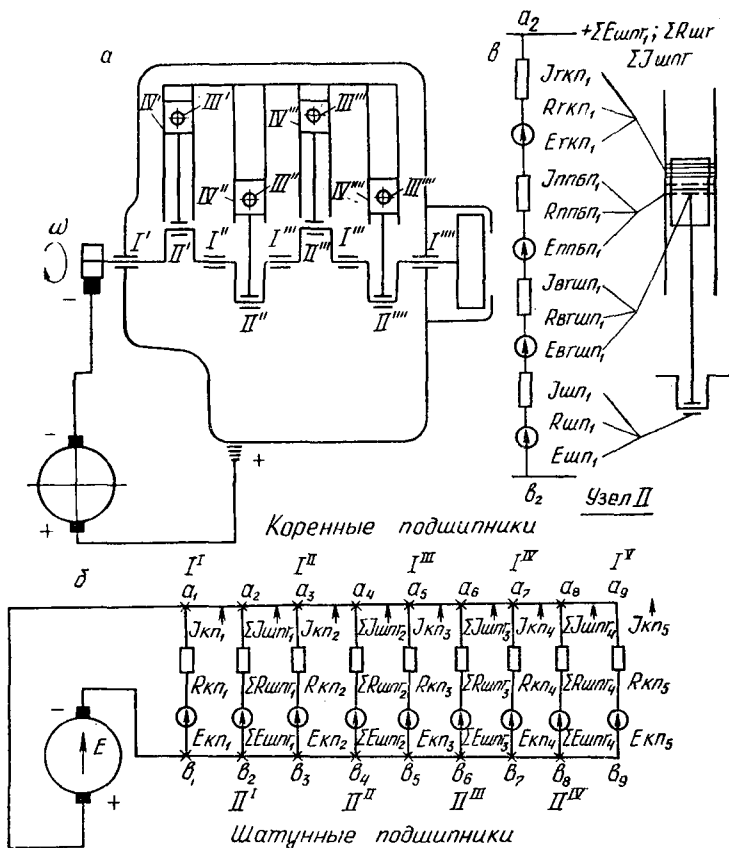


Рис. 14. Схема распределения электрического тока при ускоренной обкатке двигателя:

а — схема дизеля СМД-14; б — схема распределения электрических величин по коренным и шатунным подшипникам коленчатого вала; в — развернутая схема распределения электрических величин второго узла схемы б.

К трущимся парам от источника  $E$  подается постоянный электрический ток на токосъемник Д, ввернутый вместо храповика коленчатого вала или непосредственно на шкив привода вентилятора. При движении в парах трения (рис. 14, а) возникает ЭДС, которую можно представить в виде электрической схемы (рис. 14, б), где  $R_{кп_i}$  — внутреннее сопротивление  $E_{кп_i}$  ЭДС;  $E_{кп_i}$  — ЭДС, возникающая в КВаКП (коленчатый вал — коренной подшипник);

$R_{шпг i}$  — суммарное внутреннее сопротивление ЭДС пар  $i$ -й шатунно-поршневой группы (рис. 14, в).

$$R_{шпг i} = R_{шп i} + R_{вгшп i} + R_{пбп i} + R_{гкп i},$$

где  $R_{шп i}$  — внутреннее сопротивление ЭДС  $i$ -й пары шатунной шейки-вкладыша;  $R_{пбп i}$  — внутреннее сопротивление ЭДС  $i$ -й пары поршневой палец — поршень — поршневое кольцо.

$$E_{шпг i} = \pm E_{шп i} \pm E_{вгшп i} \pm E_{пбп i} \pm E_{гкп i},$$

где  $E_{шпг i}$  — суммарная ЭДС в  $i$ -й шатунно-поршневой группе;  $E_{вгшп i}$  — ЭДС  $i$ -й пары верхней головки шатуна — поршневого пальца;  $E_{пбп i}$  — ЭДС  $i$ -й пары поршневой палец — бобышка поршня;  $E_{гкп i}$  — ЭДС  $i$ -й пары шатунной шейки коленчатого вала-вкладыша;  $E_{шп i}$  — ЭДС  $i$ -й пары шатунной шейки коленчатого вала-вкладыша.

Электродвижущие силы ветвей  $a_i, b_i$  вызывают токи  $I_{кп}, I_{шпг i}$ , которые в сумме составляют  $I$ .

По результатам выполненного анализа можно сказать, что результаты замера потенциала гильз при напряжениях 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 В и одинаковых температурных условиях масла и воды колеблются в очень незначительных пределах.

**Шероховатость гильз и поршневых колец.** На рисунках 15 и 16 приведены эмпирические и теоретические кривые распределения шероховатости поверхностей гильз цилиндров и поршневых колец.

Кривые распределения шероховатости по дизелям СМД-14 отражают результаты обкатки с электрическим током при минусовой полярности на коленчатом валу.

Например, средняя шероховатость гильз (рис. 15),  $\bar{X}$  составляет 0,15 мкм при среднеквадратическом отклонении  $\pm 0,03$  мкм (количество повторностей 71).

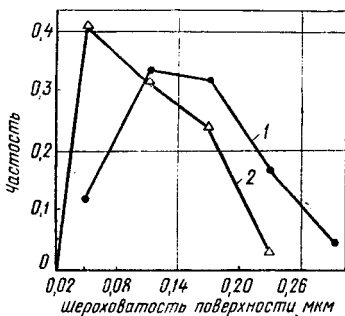


Рис. 15. Распределение шероховатости рабочих поверхностей гильз цилиндров двигателей СМД-14, обкатанных по ТУ ГОСНИТИ (1) и с использованием электрического тока (2).

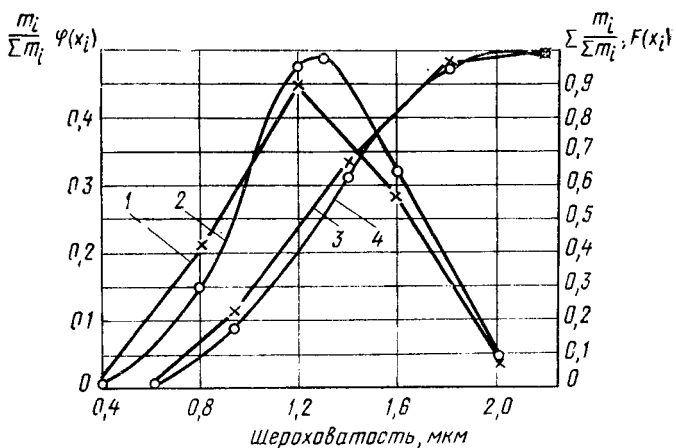


Рис. 16. Распределение шероховатости поверхностей компрессионных колец дизелей СМД-14 после обкатки с подачей электрического тока:

1 и 2 — экспериментальная и выравненная кривые распределения;  
3 и 4 — интегральные функции кривых распределения 1 и 2.

**Износ гильз цилиндров и поршневых колец двигателей.** Основным фактором, определяющим интенсивность процесса изнашивания в начальный период приработки, является возникновение отдельных фрикционных связей, происходящих в деформированном микрообъеме  $V^I$ , заключенном между гильзой цилиндров и поршневым кольцом. Изменение микрообъемов  $V^I$ ,  $V^{II}$  и  $V^{III}$  на прирабатываемых поверхностях  $\Gamma aK$  определяет начальный износ материалов, когда имеет место упругое или пластическое оттеснение материала, микрорезание, разрушение окисной пленки при многократном нарушении фрикционных связей.

По результатам измерений износа гильз цилиндров и поршневых колец после обкатки их с применением электрического тока построены кривые эмпирических и теоретических функций распределения (рис. 17, 18, 19). В тех же масштабах на рисунках нанесены интегральные функции соответствующих распределений. Под номерами 1 и 2 показаны экспериментальные и расчетные кривые распределения, а под номерами 3 и 4 приведены их интегральные значения.

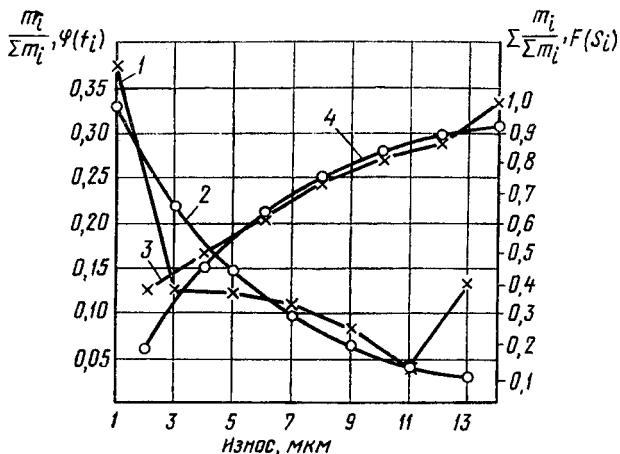


Рис. 17. Распределение износа гильз цилиндров двигателей СМД-14 после обкатки с электрическим током:

1, 2 — экспериментальная и выравненная кривые распределения; 3 и 4 — интегральные функции кривых распределения 1 и 2.

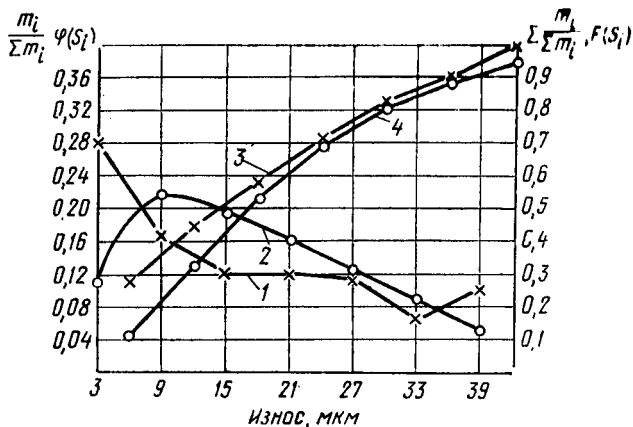


Рис. 18. Распределение износа первого компрессионного кольца дизелей СМД-14 после обкатки с подачей электрического тока:

1 и 2 — экспериментальная и выравненная кривые распределения; 3 и 4 — интегральные функции кривых распределения 1 и 2.



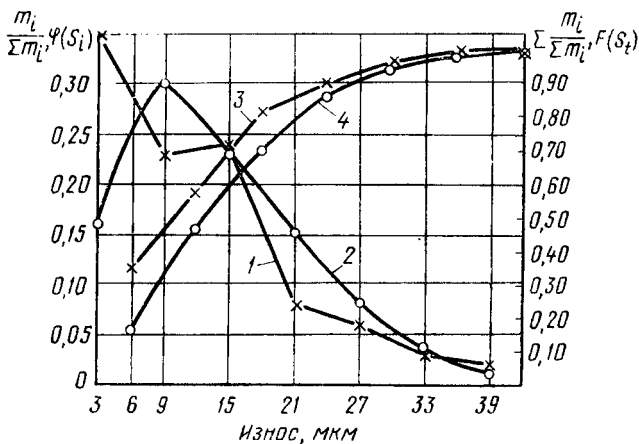


Рис. 19. Распределение износа второго и третьего компрессионных колец дизелей СМД-14 после обкатки с подачей электрического тока:

1 и 2 — экспериментальная и выравненная кривые распределения; 3 и 4 — интегральные функции кривых распределения 1 и 2.

Во время экспериментов было замечено, что изменение полярности подаваемого тока к деталям оказывает существенное влияние на их износ и способствует более быстрому завершению приработки.

Измерения показали, что деталь, соединенная с положительным полюсом источника тока, подвергается усиленному эрозионному воздействию. Поэтому рекомендовано производить подачу электрического тока на коленчатый вал с минусовой, а на гильзы цилиндров с плюсовой полярностью.

Износ трущейся пары гильза — кольцо можно представить в виде суммы износа  $W_{\text{тр}}(t)$ , полученного при трении, и дополнительного износа  $W_{\text{эл}}(t)$ , вызываемого приложением внешнего электрического поля:

$$W(t) = W_{\text{тр}}(t) + W_{\text{эл}}(t),$$

где  $W(t)$  — суммарный износ.

Если рассматривать износ двух прирабатываемых деталей в паре, например гильза — поршневое кольцо, то получим

$$W_{\text{эл}}(t) = W_{\text{эл.г}}(t) + W_{\text{эл.к}}(t),$$

где  $W_{\text{эл.г}}$  — износ гильзы цилиндров в результате дополнительно подаваемого тока, мкм;  $W_{\text{эл.к}}$  — износ поршневого кольца в результате дополнительно подаваемого тока, мкм.

Тогда зазор между гильзой цилиндров и поршневым кольцом  $\delta$  будет с течением времени возрастать, обеспечивая полную толщину слоя смазки, т. е.

$$\delta = W_{\text{эл.г}}(t) + W_{\text{эл.к}}(t),$$

где  $\delta$  — зазор между гильзой цилиндров и поршневым кольцом (или толщина прослойки смазывающей среды), мкм.

При увеличении смазывающей прослойки изменение сопротивления  $R$  между гильзой и поршневым кольцом, а также силу тока  $I$  в процессе приработки с известной степенью точности можно считать линейным:

$$R = R_0 + K_R t.$$

Здесь  $R_0$  — сопротивление в цепи гильза — кольцо в начале подачи тока;  $K_R$  — коэффициент скорости поршневых колец;

$$K_R = K_1 \rho_m V_K / S,$$

где  $K_1$  — коэффициент пропорциональности, зависящий от условий смазки;  $\rho_m$  — удельная электропроводность масла;  $V_K$  — скорость перемещения поршневого кольца;  $S$  — площадь рабочей поверхности кольца.

$$S = \pi D n_i h,$$

где  $D$  — диаметр гильзы;  $n_i$  — число поршневых колец;  $h$  — высота поршневого кольца.

С учетом этих обозначений получим

$$K_R = \frac{K_1 \rho_m V_K}{\pi D n_i h}.$$

Сопротивление электрического контакта можно представить в виде сложной функции таких параметров, как удельное сопротивление материалов, контактное давление, шероховатость и т. д.

Современные дизели имеют на поршне от двух до пяти колец. Каждое кольцо уменьшает сопротивление пары гильза — поршень. Если, например, поршень имеет три компрессионных кольца и два маслосъемных, сопротивление пары гильза — кольцо можно представить как состоящее из параллельно включенных в цепь каждого  $K_i$  сопротивления, где  $K$  —  $i$ -е кольцо в отдельности.

В связи с тем что мостиковые и разрядные явления сопровождаются испарением и разбрызгиванием металла и что объем перенесенного металла при единичной

коммутации пропорционален кубу силы тока, можно записать

$$W'_{эл}(t) = K[i(t)]^3 n(t),$$

где  $W'_{эл}(t)$  — объем перенесенного металла в паре гильза — кольцо;  $i(t)$  — сила тока в цепи гильза — кольцо;  $K$  — коэффициент, зависящий от материала;  $n(t)$  — число эрозионных кратеров на поверхности гильзы.

Интенсивность износа пары гильза — кольцо будет зависеть от напряжения в цепи коленчатый вал — блок, т. е.

$$L_{21}U = \frac{dW_{эл}(t)}{dt} = \frac{Kd\{[i(t)]^3 n(t)\}}{dt},$$

где  $U$  — напряжение в цепи, В;  $L_{21}$  — феноменологический коэффициент.

Подставляя в это уравнение значение  $i(t) = U/(K_R t + R_0)$ , получим дифференциальное уравнение, из которого можно определить  $n(t)$ , т. е. динамику изменения числа эрозионных кратеров во времени:

$$\frac{dt \cdot n(t)}{dt} - \frac{3K_R}{K_R t + R_0} n(t) = \frac{(K_R t + R_0)^3 L_{21}}{K U^2}.$$

Решая это уравнение, найдем

$$n(t) = \frac{L_{21} K^3 R}{K U^2} \left( t + \frac{R_0}{K_R} \right)^3 t.$$

В то же время

$$W_{эл}(t) = L_{21} U_0 t,$$

т. е. объем металла, образующегося при подаче к паре гильза — кольцо напряжения  $U_0$ , прямо пропорционален феноменологическому коэффициенту и времени. Коэффициент  $L_{21}$  определяется экспериментальным путем.

В данном случае

$$L_{21} = W_{эл}(t) / U_0 t.$$

Анализ состояния шероховатости и износа за период приработки деталей показывает их стабильность. Это обеспечивает получение технико-экономических параметров дизеля в соответствии с техническими требованиями.

За период обкатки стабилизируются также оценочные параметры, такие, как мощность механических потерь,

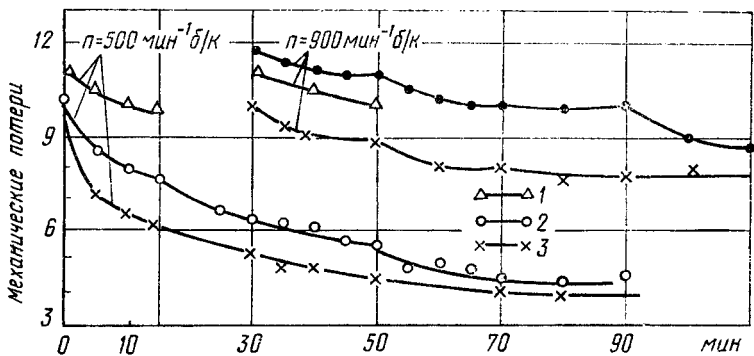


Рис. 20. Изменение механических потерь при обкатке двигателей СМД-14 с подачей электрического тока:  
1, 2 и 3 — двигатели № 1, 2, 3.

сопротивление в цепи коленчатый вал — блок и некоторые другие.

**Результаты измерений мощности механических потерь у двигателей.** В начале приработки трение и износ заметно возрастают, затем по мере прирабатываемости деталей снижаются и при завершении приработки стабилизируются. Поэтому изменение мощности механических потерь в начале приработки двигателя может происходить с большой затратой энергии.

Наиболее точно мощность механических потерь можно определить по методу индицирования двигателя. Однако этот метод требует значительных затрат труда и времени на подготовку опыта. Кроме того, он допускает большие погрешности в определении площади индикаторной диаграммы планиметрированием, что вносит искажение в дальнейшие расчеты. Поэтому лучше пользоваться более упрощенным методом — прокручиванием двигателя от постороннего источника энергии.

Результаты замеров механических потерь двигателей СМД-14 показывают изменение величины механических потерь в зависимости от режима и продолжительности обкатки (рис. 20). На графиках даны результаты замеров по трем двигателям на двух режимах:  $8,3 \text{ с}^{-1}$  и  $15,0 \text{ с}^{-1}$ .

Анализ изменения механических потерь в зависимости от режима и продолжительности обкатки показывает,

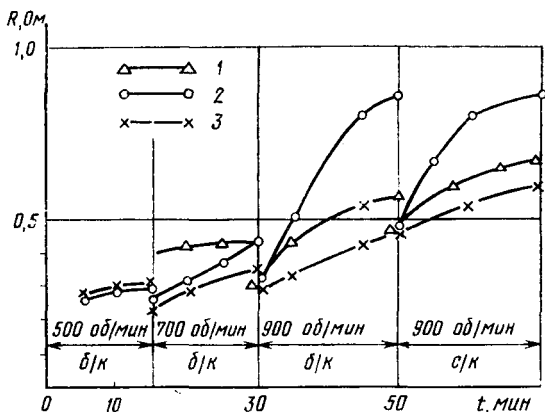


Рис. 21. Сопротивление в цепи коленчатый вал — блок в зависимости от режима и времени обкатки, Ом:

1, 2 и 3 — двигатели № 1, 2, 3.

что снижение механических потерь происходит при скоростях вращения коленчатого вала  $8,3...15,0 \text{ с}^{-1}$  после  $50...70$  мин обкатки.

**Сопротивление в цепи коленчатый вал — блок при различных режимах обкатки двигателя.** Электрическое сопротивление трущейся пары возрастает в конце периода приработки. Такое увеличение электрического сопротивления в процессе приработки двигателя можно принять в качестве оценочного критерия.

На рисунке 21 представлены кривые сопротивления в цепи коленчатый вал — блок в зависимости от времени приработки двигателя. Из графика видно, что на режимах  $8,3...13,3 \text{ с}^{-1}$  сопротивление увеличивается медленно, а при  $15,0 \text{ с}^{-1}$  (как без компрессии, так и с компрессией) быстро растет. Поэтому с учетом критериев приработки (шероховатость поверхности трения, механические потери, сопротивление в цепи коленчатый вал — блок) длительность приработки с электрическим током должна составлять 30 мин, число оборотов коленчатого вала  $15,0 \text{ с}^{-1}$  с компрессией.

Подача электрического тока при  $n=8,3...13,3 \text{ с}^{-1}$  не рациональна, так как сопротивление в цепи коленчатый вал — блок растет медленно. Это говорит о более медленном процессе приработки поверхностей деталей.

**Влияние электрического тока на свойства смазки двигателя.** Смазочное масло способствует снижению трения между трущимися поверхностями, а также уменьшению износа деталей, охлаждению и эвакуации продуктов износа и окислительных процессов и т. д. Кроме того, масло препятствует попаданию механических и газообразных компонентов к трущимся поверхностям. В связи с этим к смазочным маслам для двигателей предъявляют особые требования.

Для определения влияния электрического тока на стабильность физико-механических свойств смазки были проведены сравнительные испытания двигателей СМД-14 по режимам ТУ ГОСНИТИ (эталон) и с пропуском электрического тока.

В процессе приработки через определенное время отбирали пробы масла (свежее, после первого, второго, третьего и т. д. этапов приработки). Определяли изменение вязкости смазки в результате применения различных способов приработки. Исследовали изменение электрометрических характеристик для каждой пробы.

Исследования показали, что пропускание электрического тока не оказывает отрицательного влияния на изменение кинематической вязкости (рис. 22). Значения вязкости масла в обоих случаях находятся в области заштрихованной площади между эталонной и экспериментальной кривыми. Аналогичные результаты получены при определении значений электрометрических

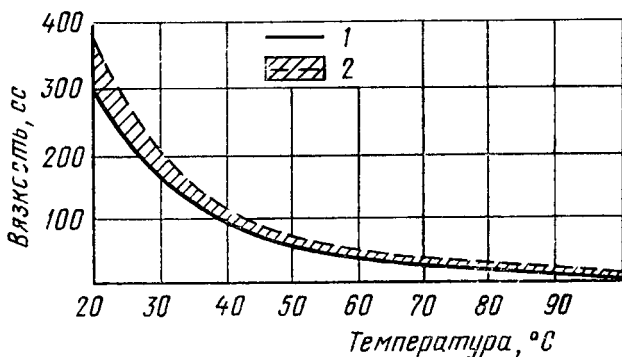


Рис. 22. Изменение кинематической вязкости масла М10В в процессе обкатки двигателей СМД-14 по ТУ ГОСНИТИ (1) и с применением электрического тока (2).

свойств масла М10В. При обкатке двигателя с применением электрического тока электропроводность масла М10В не изменяется.

**Технологический процесс обкатки двигателей.** Существуют определенные различия в условиях обкатки тракторных и комбайновых дизелей на заводах-изготовителях и на ремонтных предприятиях. Это обусловлено спецификой оборудования, площадей обкаточно-испытательных участков и т. д. На многих предприятиях ремонтируются одновременно двигатели различного типа, что создает значительные трудности в соблюдении установленных режимов.

Обкатка отремонтированных дизелей с применением электрического тока сокращает эти недостатки и обеспечивает стабильность режимов, заложенных в технологический процесс. Это позволяет создать единый по времени и величине подаваемого тока режим для нескольких типов двигателей. Режимы горячей обкатки (с нагрузкой и без нагрузки) будут отличаться друг от друга по времени и по скоростным характеристикам.

Технологический процесс обкатки дизелей состоит из операций, приведенных в таблице 10.

**10. Режимы обкатки дизелей СМД-14 с применением электрического тока**

Этап обкатки	Режимы		Время, мин
	скоростной, $c^{-1}$	нагрузочный, % от номинального	
Холодная	10,0	—	10
Холодная с подачей электрического тока	В зависимости от возможности стенда	—	25...30
$U=0,8 \dots 1,2$ В; $I=3,0 \dots 6,0$ А	$n=16,6 \dots 20,0$	—	
Горячая:		—	15
на холостом ходу		При положении рычага управления регулятором частоты вращения, соответствующем полной подаче топлива	15
под нагрузкой			85...95
Испытание			

Дизельное топливо и масло, используемое при обкатке, должны соответствовать необходимым требованиям в соответствии с его технической характеристикой.

В процессе обкатки необходимо проверять работу дизеля. Давление масла в магистрали прогретого дизеля должно соответствовать его технической характеристике. Недопустимы подтекание масла, топлива и воды в местах соединения, а также резкие шумы и стуки в механизмах.

Если обнаруженные неисправности невозможно устранить на стенде, дизель отправляют на повторный ремонт.

Холодная обкатка двигателя, снабженного механизмом декомпрессии, в течение первых пяти минут должна проводиться без компрессии.

В процессе холодной обкатки повышают частоту вращения коленчатого вала дизеля согласно установленным режимам. Затем начинают подачу электрического тока. При этом на установке должна гореть сигнальная лампа. Приборы должны иметь следующие показания: вольтметр — 0,8...1,2 В, амперметр — 3,0...6 А.

После обкатки дизель подвергают приемо-сдаточным испытаниям в соответствии с установочными и техническими требованиями на капитальный ремонт.

Дизель присоединяется к централизованным системам подачи охлаждающей воды, масла и топлива и через шкив коленчатого вала — к установке для подачи электрического тока по упрощенной схеме (рис. 23). Плюсовая клемма источника тока соединяется с массой.

В производственных условиях для испытания дизелей применяют установку КИ-11041 с пультом управления для обслуживания одного, двух или пяти стендов. Пульт управления предназначен для контроля подачи электрического тока к двигателю. На передней панели установлены все основные органы управления и контроля: индикатор включения сети (питание), тумблер включения сети (сеть), индикатор обкатки двигателей (нагрузка), кнопки «Пуск» и «Стоп». На задней панели расположены выпрямитель, реле времени и промежуточное реле.

Электрическая схема пульта (рис. 24) предусматривает защиту и управление установкой. Напряжение питания от сети переменного тока через шпиндельный разъем Ш при включенном тумблере В и кнопки К#2 по-



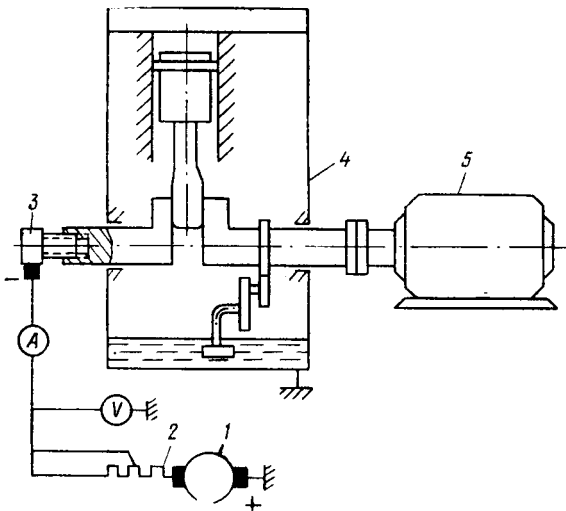


Рис. 23. Принципиальная схема обкатки двигателей с подачей электрического тока:  
 1 — источник постоянного тока; 2 — реостат; 3 — токо-  
 съёмник; 4 — испытываемый двигатель; 5 — электродвигатель.

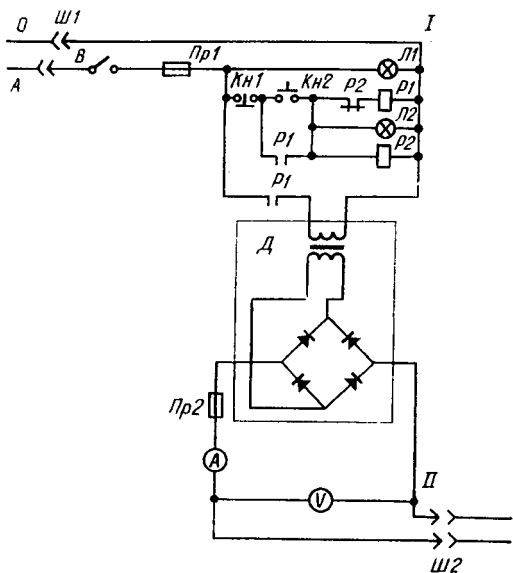


Рис. 24. Принципиальная электрическая схема установки для подачи электрического тока к двигателю.

дается на обмотку промежуточного реле  $P_1$ , которое своими контактами замыкает цепи питания реле времени  $P_2$  и селенового выпрямителя  $D$ .

Выпрямленное напряжение и ток, контролируемые вольтметром  $V$  и амперметром  $A$ , снимаются с выпрямителя  $D$  и через штепсельный разъем  $Ш_2$  подаются к токосъемнику установки. Подача напряжения контролируется сигнальной лампой  $L_2$ . Длительность времени подачи тока к двигателю устанавливается реле  $P_2$  на 25...30 мин. По истечении указанного срока временное реле  $P_2$  своими контактами разрывает цепь питания  $P_1$  и выпрямителя  $D$ , затем гаснет лампочка  $L_2$ . Для защиты цепи питания и вторичных цепей схемы предусмотрены предохранители  $Пр_1$  и  $Пр_2$ .

Токосъемник, предназначенный для передачи тока с неподвижных деталей установки к вращающемуся колечатому валу обкатываемого двигателя через щеткодержатель и щетки от пульта управления, состоит из медного кольца и храповика. Щеткодержатель с помощью специальных болтов устанавливается на основание обкаточного стэнда.

На рисунке 25 приведена схема токосъемника, сконструированного Лужским районным объединением Госкомсельхозтехники РСФСР. По этой схеме съём тока производится непосредственно со шкива ремня венти-

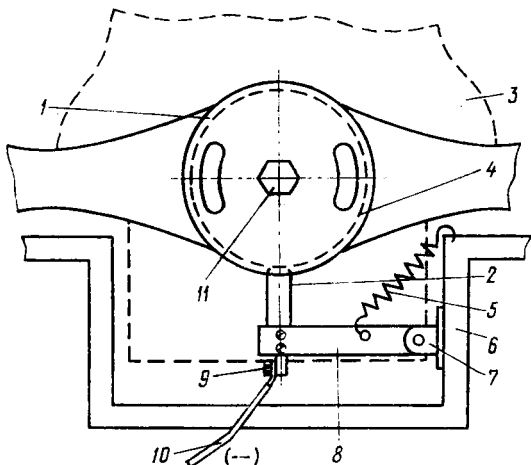


Рис. 25. Монтажная схема токосъемника на стэнде.

лятора, представляющего бронзовый или медный наконечник 2. К концу токосъемника винтом 9 прикрепляется подводящий электропровод 10. В средней части токосъемник закреплен винтами между двумя текстолитовыми пластинами 8, которые противоположными концами соединяются с кронштейном 7, приваренным к опоре стенда общей осью. Ввод в рабочее положение и вывод из него наконечника токосъемника 2 производятся натяжением или освобождением пружины 5.

### **Факторы ускорения процесса обкатки двигателей.**

Механизм образования поверхностного слоя детали в процессе начальной приработки обусловлен влиянием упруго-пластической деформации и местного нагрева, возникающих в зоне фактического контакта трущихся деталей в момент первоначальной раскрутки двигателя. При подаче постоянного электрического тока в зоне контакта поверхностей происходит дальнейшее усиление окислительного процесса и эрозии металла. При исследовании поверхностных процессов были использованы известный метод растровой электронной микроскопии и рентгеноспектральный анализ. Изготовленные по специальной методике шлифы из вырезок гильз цилиндров, поршневых колец и других деталей изучались с помощью скользящего пучка рентгеновских излучений на поверхность подготовленных образцов. Меняя угол падения лучей, послойно определялись структурные изменения прирабочной поверхности деталей.

На фотографии поверхности гильзы цилиндров дизеля СМД-14 после приработки с электрическим током видно, что в местах наибольшего контакта гильзы с поршневыми кольцами имеются многочисленные кратеры, образовавшиеся в результате электрической эрозии. Для изучения характера и формы этих кратеров был использован метод растровой электронной микроскопии просвечивающего типа, обеспечивающий прямое наблюдение поверхности изучаемых образцов и фотографирование отдельных участков в автоматическом режиме.

Исследования показали, что подобные кратеры образуются не по всей поверхности гильзы, а только в местах наибольшего сближения трущихся пар. Размеры кратеров колеблются от двух до пяти микрон в диаметре и по глубине. Конфигурация кратера по форме напоминает параболу, а в сечении имеет форму эллипса.

На поверхности трущихся деталей при пропускании постоянного электрического тока, кроме эрозионного, происходят электрохимические и окислительные процессы.

Соединение трущейся детали с положительным (+) полюсом источника тока усиливает окислительные процессы на их поверхностях. Более интенсивное окисление уменьшает заедание поверхностей трения. При ускоренной обкатке дизелей с подачей электрического тока к парам трения гильзы цилиндров являются анодом, имеющим плюсовую полярность (+), а детали шатунно-поршневой системы — катодом с минусовой полярностью (-). При возвратно-поступательном движении поршневого кольца по гильзе, когда к трущимся поверхностям подан электрический ток, поршневое кольцо, подобно действию электрода, будет обрабатывать поверхность гильзы цилиндров. В местах микроконтактного сближения гильзы цилиндров (анод) и поршневого кольца (катод) при достаточной емкости электрического тока происходят пробой масляной пленки и удаление оторванной части металла.

Следующий аналогичный разряд произойдет уже между двумя другими трущимися точками, оказавшимися в данный момент времени на ближайшем расстоянии друг от друга. Этот процесс продолжается до тех пор, пока электрический ток не обработает все неровности (шероховатости) на расстоянии, обеспечивающем пробой масляной пленки. С увеличением зазора между гильзой и поршневыми кольцами в результате съема металла подаваемое напряжение уже будет недостаточным для пробоя образовавшегося расстояния. В этом случае процесс приработки прекратится автоматически.

# 3

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ УСКОРЕННОЙ ОБКАТКИ ДВИГАТЕЛЕЙ

### 1. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НА ПРОИЗВОДСТВЕ

Метод ускоренной обкатки двигателей с применением электрического тока внедрен на многих ремонтных предприятиях системы Госкомсельхозтехники СССР. Существует уже немало хозяйств, внедривших обкатку отремонтированных двигателей с применением электрического тока. Внедрение продолжается по плану научно-технического прогресса Госкомсельхозтехники СССР.

Для определения эффективности предлагаемого способа перед его широким внедрением в производство были проведены сравнительные стендовые и эксплуатационные испытания двигателей, укомплектованных деталями, приработанными по эталонным режимам (ТУ ГОСНИТИ) и с применением электрического тока.

Испытания включали два периода: период предварительной приработки в течение 60 ч и период нормальной работы в течение 300 ч. Предварительная приработка проводилась по режимам, приведенным в таблице 11.

Затем проводили 4-часовые циклы испытаний по следующей схеме:

максимальная частота вращения холостого хода  $30,0 \text{ с}^{-1}$  — 10 мин; максимальный крутящий момент — 10 мин; номинальная мощность при  $28,3 \text{ с}^{-1}$  — 210 мин; максимальная частота вращения холостого хода  $30,0 \text{ с}^{-1}$  — 10 мин.

Износ гильз и шеек коленчатого вала замеряли микрометрированием и методом вырезанных лунок. Износ поршневых колец определяли методом взвешивания на аналитических весах. Полученные результаты сравнивали между собой. Стендовые испытания показали, что поршневые кольца изнашивались в среднем на 42 мкм при приработке с электрическим током и на 49 мкм при

## 11. Режимы предварительной 60-часовой обкатки

Режим испытаний	Продолжительность, мин
Холостой ход с постепенным повышением от 11,6 до 30,0 с <sup>-1</sup>	15
Под нагрузкой 3,68 кВт при 23,3...25,0 с <sup>-1</sup>	15
» » 7,36 кВт при 25,0...26,6 с <sup>-1</sup>	85
» » 11,0 кВт при полной подаче топлива	180
» » 18,4 кВт » »	240
» » 25,7 кВт » »	300
» » 33,1 кВт » »	600
» » 36,8 кВт » »	900
» » 44,1 кВт » »	600
» » 51,5 кВт » »	300
» » 55,2 кВт » »	300

приработке по ТУ ГОСНИТИ, т. е. износ при приработке с использованием электрического тока оказался на 14 % меньше. Средний весовой износ поршневых колец за указанное время составил: при приработке с электрическим током — 0,21 г, при приработке по ТУ ГОСНИТИ — 0,35 г. Замеры показали, что износ гильз цилиндров, приработанных с электрическим током, равен 17 мкм, а по ТУ ГОСНИТИ — 20 мкм.

В таблице 12 даны рекомендуемые режимы ускоренной приработки дизельных двигателей с подачей постоянного электрического тока к парам трения.

Анализируя таблицу рекомендуемых режимов, следует отметить, что холодная приработка дизельных двигателей сельскохозяйственных тракторов производится при скоростном режиме  $n=8,2...10,0$  с<sup>-1</sup> продолжительностью 10 мин. Такой режим вполне обеспечивает нормальные условия смазки, удовлетворительное формирование поверхностей прирабатываемых деталей.

Холодная обкатка с подачей электрического тока ( $I=3,0...6$  А;  $U=0,8...1,2$ В) имеет одинаковый скоростной режим для всех рассматриваемых двигателей (15,0...16,6 с<sup>-1</sup>). Продолжительность обкатки для всех двигателей равна 25 мин.

Горячая обкатка на холостом ходу по скоростному режиму для всех марок одинакова и составляет 21,6...23,3 с<sup>-1</sup> продолжительностью 15 мин.

## 12. Режимы обкатки дизелей с применением электрического тока в парах трения

Марка дизеля	Частота вращения коленчатого вала, с <sup>-1</sup>	Мощность, % от номинальной	Время, мин
--------------	--	----------------------------	------------

### *Холодная обкатка*

СМД-14, СМД-14А, СМД-19, СМД-20, СМД-14НГ, СМД-15К, СМД-17К, СМД-18, СМД-60, СМД-62, СМД-72, СМД-64, А-41, А-01, А-01М, Д-37, Д-37М, Д-37Е, Д-50, Д-50Л, Д-240, Д-240Б, ЯМЗ-238НБ, Д-65М, Д-65Н, Д-21, Д-21А	8,3 ... 10,0	—	10
---	--------------	---	----

### *Холодная обкатка с подачей электрического тока к парам трения (U=0,8 ... 1,2 В; I=3,0 ... 6 А)*

СМД-14, СМД-14А, СМД-19, СМД-20, СМД-14НГ, СМД-15К, СМД-17К, СМД-72, СМД-18К, СМД-60, СМД-62, СМД-64, А-01, А-01М, А-41, ЯМЗ-238НБ	15,0 ... 16,6	—	25
Д-37, Д-37М, Д-37Е, Д-144, Д-50Л, Д-240Б, Д-240, Д-65М, Д-65Н, Д-21, Д-21А	15,0 ... 16,6	—	25

### *Обкатка на холостом ходу*

СМД-14, СМД-14А, СМД-19, СМД-20, СМД-14НГ, СМД-15К, СМД-18К, Д-65М, Д-65Н, Д-27, Д-37М, Д-37Е, Д-144, А-01, А-01М, А-41, СМД-60, СМД-62, СМД-64, СМД-72, Д-50Л, Д-50, Д-240, Д-240Б, ЯМЗ-238НБ	21,6 ... 23,3	—	15
--	---------------	---	----

### *Обкатка под нагрузкой (при положении органов управления, соответствующем полной подаче топлива)*

СМД-14, СМД-14А, СМД-19, СМД-20, СМД-14НГ, СМД-15К, СМД-17К, СМД-18К, Д-37, Д-144, Д-50, Д-50Л, Д-240, Д-240Б, Д-65, А-01, А-01М, А-41, ЯМЗ-238НБ, СМД-60, СМД-62, СМД-64, СМД-72	—	40 ... 50	10
Испытание		20 ... 25	10
		40 ... 50	10
		100	5

Горячая обкатка под нагрузкой производится при полной подаче топлива на максимальном скоростном режиме с нагрузкой двигателя от 20 до 50 % номинальной мощности. После завершения обкатки двигатели испытывают в течение 5 мин для определения гарантируемых заводом технико-экономических показателей.

При выборе скоростных режимов и продолжительности приработки учитываются рекомендованные скоростные и нагрузочные режимы заводов-изготовителей.

## 2. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

Для расчета экономической эффективности использованы данные приработки двигателей СМД-14 на стенде ҚИ-1363Б ГОСНИТИ без пропуска электрического тока к трущимся деталям двигателя (табл. 13).

Расчет потребности оборудования. Количество испытательных стендов определяется по формуле:

$$N = \frac{tK_b}{T_{об}K_{ис}}$$

где  $t$  — продолжительность приработки и испытания двигателя;  $K_b$  — коэффициент, учитывающий возврат двигателей для повторной приработки и испытания ( $K_b = 1 + 1,05$ );  $K_{ис}$  — коэффициент, учитывающий использование стенда по времени ( $K_{ис} = 0,86 + 0,95$ );  $T_{об}$  — общий такт производственного процесса, определяемый по формуле:

$$T_{об} = \Phi / A_n$$

Здесь  $\Phi$  — количество часов работы обкаточного отделения в год;  $A_n$  — годовая программа.

Отсюда

$$T_{об} = \frac{4015}{3000} = 1,34.$$

$$N_1 = \frac{4 \cdot 1,05}{1,34 \cdot 0,95} = 3,3 \text{ — базовый вариант.}$$

Принимаем количество стендов равным 3.

По новому варианту

$$N_2 = \frac{2,1 \cdot 1,05}{1,34 \cdot 0,95} = 1,7.$$

Принимаем количество стендов равным 2.



### 13. Исходные данные для расчета экономической эффективности

Наименование показателей	Буквенное обозначение	Единица измерения	Показатели	
			до внедрения	после внедрения
Годовая программа	$A_n$	шт.	3000	3000
Стоимость стенда	$\Pi$	руб.	1777	1777
Стоимость установки КИ-11041	$\Pi$	руб.	—	414
Норма времени на приработку двигателя	$t$	ч	4	2,1
Количество обслуживающего персонала	$З$	чел.	1	1
Разряд работы	—	—	—	—
Часовая тарифная ставка	$C_k$	коп.	75,4	75,4
Расход дизельного топлива	$M$	кг	40	31
Стоимость дизельного топлива	$\Pi$	р/кг	0,034	0,034
Амортизационные отчисления на оборудование	$a$	%	16,2	16,2
Норма годовых отчислений на содержание и текущий ремонт оборудования	$a_d$	%	4	4
Коэффициент, учитывающий дополнительную заработную плату	$K_0$		1,1	1,1
Коэффициент, учитывающий начисления на соцстрах	$K_n$		1,044	1,044
Нормативный коэффициент сравнительной эффективности капитальных затрат			0,15	0,15
Мощность:				
а) обкаточного стенда КИ-1363Б	$N$	кВт	40	40
б) стенда 11041		кВт		0,2
Коэффициент спроса для условий ремонтного предприятия	$K_c$		0,6	0,6
Коэффициент, учитывающий затраты на транспортирование	$K_r$		1,1	1,1
Стоимость 1 кВт/ч электроэнергии	$\Pi_э$	коп.	1,09	1,09
Стоимость 1 м <sup>2</sup> производственных помещений	$\Pi_n$	руб.	125	125
Годовой фонд работы оборудования	$T_0$	ч	4015	4015

Расчет потребности производственных площадей ведется по двум вариантам.

	Базовый вариант	Новый вариант
Стенд 1363	$(5750 \times 5450) \times 3 = 93,8$	$(5750 \times 5440) \times 2 = 62,6$
Установка 11041	—	$480 \times 320 = 0,15$
	93,8	$240 \times 40 = 0,01$
Итого		62,76

Необходимые площади с учетом проходов и проездов, м<sup>2</sup>.

$$S = \frac{93,8}{0,3} = 312,7 \quad S = \frac{62,76}{0,3} = 209,2.$$

**Расчет потребляемой энергии** включает базовый и новый варианты.

	Базовый вариант	Новый вариант
Стенд	$1363 \ 40 \times 3 = 120 \text{ кВт}$	$40 \times 2 = 80 \text{ кВт}$
Итого		$0,2 \times 1 = 0,2 \text{ кВт}$ $80,2 \text{ кВт}$

**Расчеты удельных капитальных вложений и эксплуатационных затрат** приведены в таблицах 14 и 15.

#### 14. Расчет удельных капитальных затрат

Наименование	Формула расчета	Расчет, руб.	
		базовый вариант	новый вариант
Балансовая стоимость оборудования стенд 1363Б установка 11041	$B = C_0 \times \times 1,1N$	$1777 \times 1,1 \times 3 = 5864$	$4364,8$ $1777 \times 1,1 \times 2 = 3909,4$ $414 \times 1,1 = 455,4$
Балансовая стоимость производственного помещения	$B_n = SII_0$ $B_0 = B + B_n$	$312,7 \times 125 = 39\ 087$ $5864 + 39\ 087 = 44\ 951$	$209,2 \times 125 = 26\ 150$ $6365 + 26\ 150 = 30\ 515$
Итого			
Удельные капитальные затраты	$K = \frac{B_0}{A}$	$\frac{44\ 951}{3000} = 15$	$\frac{30\ 515}{3000} = 10,2$

**Ожидаемый годовой экономический эффект** от внедрения в производство ускоренной приработки двигателей СМД-14 с пропускиванием электрического тока:

$$\mathcal{E}_r = [(C_c + EK_c) - (C_n + EK_n)] A_n,$$

где  $C_c, C_n$  — себестоимость приработки двигателя до и после внедрения новой технологии;  $K_c, K_n$  — удельные капитальные затраты, приходящиеся на приработку одного двигателя до и после внедрения новой технологии;  $E$  — нормативный коэффициент сравнительной эффективности капитальных затрат, равный 0,12;  $A_n$  — годовой объем работ, шт.

$$\mathcal{E}_r = [(7,02 + 0,12 \times 15) - (4,37 + 0,12 \times \times 10,2)] \times 3000 = 9690 \text{ (руб.)}$$

Ожидаемый годовой экономический эффект от внедрения новой технологии для всей системы Госкомсельхозтехники при ремонте двух миллионов двигателей составит:  $\mathcal{E}_r = 2\ 000\ 000 \times 3,23 = 6,5 \text{ млн. руб.}$

15. Расчет удельных эксплуатационных затрат по различающимся элементам

Наименование	Формула расчета	Расчет, коп.	
		базовый вариант	новый вариант
Зарботная плата с начислениями	$C_3 = C_{ц} \cdot K_d K_n$	$75,4 \times 4 \times 1,1 \times 1,044 = 346,4$	$75,4 \times 2,1 \times 1,1 \times 1,044 = 181,8$
Амортизационные отчисления:			
на оборудование	$C_0 = \frac{B_a}{A \cdot 100}$	$\frac{5864 \times 16,2}{3000 \times 1000} = 31,7$	$\frac{4365 \times 16,2}{3000 \times 1000} = 23,6$
на производственные помещения	$C_{оп} = \frac{B_{п} a i}{A \cdot 100}$	$\frac{39087 \times 2,8}{3000 \times 100} = 36,5$	$\frac{26 \cdot 150 \times 2,8}{3000 \times 100} = 24,4$
Отчисление на содержание и текущий ремонт:			
оборудования	$C_r = \frac{B_{a_r}}{A \cdot 100}$	$\frac{5864 \times 4}{3000 \times 100} = 7,8$	$\frac{4365 \times 4}{3000 \times 100} = 5,8$
производственных помещений	$C_{rp} = \frac{B_{п} A_{rp}}{A \cdot 100}$	$\frac{39087 \times 3}{3000 \times 100} = 39$	$\frac{26150 \times 3}{3000 \times 100} = 26$
Потребность в дизельном топливе	$C_m = M C_m$	$40 \times 3,4 = 136$	$31 \times 3,4 = 105,4$
Расход электроэнергии	$C_э = \frac{K_c \sum N T_0 C_э}{A}$	$\frac{0,6 \times 120 \times 4015 \times 1,09}{3000} = 105$	$\frac{0,6 \times 80,2 \times 4015 \times 1,09}{3000} = 70,2$
Итого	$C$	702,4	437,2

### 3. ПРИМЕНЯЕМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

**Обкаточные стенды.** К основному оборудованию для обкатки двигателей в производственных условиях относятся: обкаточно-тормозные стенды, включающие устройство для вращения двигателя в период холодной обкатки и для поглощения мощности двигателя во время горячей обкатки и последующего испытания и дополнительное оборудование, обеспечивающее топливом, охлаждающей водой и смазкой. Стенд состоит из асинхронной электрической машины АКБ, прикрепленной двумя стойками к плите. При холодной обкатке двигателей электрическая машина работает в режиме двигателя, т. е. вращает отремонтированный двигатель. Частота вращения меняется в пределах от нуля до синхронного числа  $n_c$  электромашины (для стендов применяют машины с числом  $n_c = 12,43; 16,6; 25,0 \text{ с}^{-1}$ ). Продолжительность устойчивой работы электрической машины при холодной обкатке двигателей находится в пределах: минимальная частота —  $0,4 n_c$ ; максимальная —  $0,95 n_c$ .

После окончания холодной приработки, не останавливая стенда, включают подачу топлива, и двигатель запускается на горячий ход. По мере увеличения подачи топлива частота вращения двигателя увеличивается, превышая  $n_c$ . После этого электрическая машина начинает работать в режиме генератора, отдавая ток в электрическую сеть.

Для изменения или поддержания заданной частоты вращения двигателя применяют жидкостный реостат, представляющий металлический резервуар, заполненный водным раствором каустической соды. Концентрация раствора в реостате для двигателей средней мощности составляет  $0,5...1 \%$ . Для стендов, предназначенных для обкатки и испытания двигателей большой мощности, концентрацию доводят до  $2...3 \%$ . В реостате находятся электроды, соединенные с проводами колец ротора электрической машины стенда. Техническая характеристика обкаточно-тормозных стендов приведена в таблице 16.

**Выбор обкаточных стендов.** При выборе стендов для обкатки и испытаний дизелей необходимо, чтобы номинальный крутящий момент  $M_{нэд}$  электрической машины при работе в режиме двигателя был не менее номинального крутящего момента  $M_{ном}$  двигателя,  $M_{нэд} \geq M_{ном}$ .

## 16. Основные технические данные стационарных обкаточно-тормозных стенов

Параметры	Марки стенов				
	КИ-4893	КИ-1363В	КИ-2139Б	КИ-598БП	КИ-2118АП
Электрическая машина:	<i>Балансирная асинхронная с фазовым ротором</i>				
тип					
марка	АКБ-82-6		АКБ-82-4	АКБ-92-8	АКБ-92-4
мощность, кВт	37		55	55	90
синхронная частота вращения ротора, с <sup>-1</sup>	16,6		25,0	12,43	25,0
60 Диапазон регулирования частоты вращения ротора, с <sup>-1</sup> :					
в режиме двигателя	8,3...14,1		10,0...24,1	5,0...12,4	8,3...23,3
в режиме генератора	18,3...33,3		28,3...49,9	13,3...25,0	28,3...49,9
Измеритель частоты вращения ротора, с <sup>-1</sup> :					
тип			Электрический ТМ и Э		
диапазон измерения, с <sup>-1</sup>			6,6...49,9		
основная погрешность, с <sup>-1</sup>			0,016...0,91		
тип			Цифровой		
диапазон измерения, с <sup>-1</sup>			0,83...166,6		
основная погрешность, %			±0,015		

Параметры	Марки стэнда				
	КИ-5274	КИ-5542	КИ-5543	КИ-5541	КИ-5540
Электрическая машина:					
тип	<i>Балансированная асинхронная с фазовым ротором</i>				
марка	АКБ-101-4	АКБ-82-6	АКБ-82	АКБ-92-8	АКБ-6-92-4
мощность, кВт	160	37	55	55	90
синхронная частота вращения ротора, с <sup>-1</sup>	25,0	16,6	25,5	12,43	25,0
Диапазон регулирования частоты вращения ротора, с <sup>-1</sup> :					
в режиме двигателя	8,3 ... 23,3	8,3 ... 15,8	10,0 ... 24,1	5,0 ... 12,0	8,3 ... 23,3
в режиме генератора	26,6 ... 49,9	18,3 ... 33,3	28,3 ... 49,9	13,3 ... 25,0	28,3 ... 49,9
Измеритель частоты вращения ротора, с <sup>-1</sup> :					
тип					
диапазон измерения, с <sup>-1</sup>					
основная погрешность, с <sup>-1</sup>					
тип					
диапазон измерения, с <sup>-1</sup>					
основная погрешность, %					

Параметры	Марки стенда				
	КИ-5274	КИ-5542	КИ-5543	КИ-5541	КИ-55 0
Измерение расхода топлива испытуемого двигателя					
весы			<i>Массовый</i>		
интервал взвешивания, г			Настольные циферблатные (РН-10Ц13)		
допустимая погрешность, г			100 ... 2500 +2,5		
62 Наибольшая тормозная мощность стенда, с <sup>-1</sup> /кВт	33,3/73,6	49,9/110,4	25,0/110,4	21,6/36,8	49,9/184,0
Регулировочный реостат:					
тип			<i>Жидкостный</i>		
емкость бака, л	300		600	300	
Максимальный крутящий момент, Нм	36,7		91,8	122,4	
Силоизмерительный механизм:					
тип			<i>Маятниковый</i>		
пределы измерения по шкале циферблата, Н	0 ... 51,0		0 ... 112,0	0 ... 182,4	
цена минимального деления шкалы, Н		0,51		0,51	

Параметры	Марки стенда				
	КИ-5274	КИ-5542	КИ-5543	КИ-5541	КИ-5540
Измерение расхода топлива испытуемого двигателя				<i>Массовый</i>	
весы					
интервал взвешивания, г					
допустимая погрешность, г					
63 Наибольшая тормозная мощность стенда, с <sup>-1</sup> /кВт	49,9/294,4	33,3/73,6	49,9/110,4	25,0/110,4	49,9/184,0
Регулировочный реостат:					
тип					
емкость бака, л	600			<i>Жидкостный</i>	
Максимальный крутящий момент, Нм	91,8				
Силоизмерительный механизм:					
тип					
пределы измерения по шкале циферблата, Н	0 ... 112,0			<i>Маятниковый</i>	0 ... 49,0
цена минимального деления шкалы, Н	0,25				



## 17. Допустимая погрешность при испытании двигателей

Показатели	Обозначение	Погрешность измерения	
		для дизелей	для карбюраторных двигателей
Крутящий момент, Н·м	$M_k$	$\pm 0,01 M_{kном}$	$\pm 0,5 \%$
Частота вращения коленчатого вала, $c^{-1}$		$0,005_{ном}$ , но не более $\pm 10 \text{ мин}^{-1}$	$\pm 0,005_{ном}$
Расход топлива, кг/ч		$\pm 0,005$	$\pm 0,005$
Барометрическое давление, МПа	$B_{окр}$	$\pm 0,0002$	—
Давление масла в главной масляной магистрали, МПа	$P_m$	$\pm 0,02$	—
Температура охлаждающего воздуха, $^{\circ}C$	$t_{окр}$	$\pm 1$	$\pm 0,5$
Температура охлаждающей жидкости на выходе из дизеля, $^{\circ}C$	$t_{ж}$	$\pm 3$	$\pm 1$
Температура масла в поддоне или перед масляным радиатором, $^{\circ}C$	$t_m$	$\pm 3$	—
Температура топлива на входе, $^{\circ}C$	$t_t$	$\pm 1$	—
Угол опережения впрыска топлива или угол опережения зажигания, град	$\Phi_{впр}$	$\pm 1$	$\pm 1$
Расход масла на угар в течение 10 ч, кг	$\Delta G_{м.уг}$	$\pm 0,02$	—
Расход топлива за время определения расхода масла на угар, кг	$\Delta G_t$	$\pm 0,01$	—
Относительная влажность окружающего воздуха, %	$\Phi_{окр}$	$\pm 2$	$\pm 2$
Дымность отработавших газов, %	$K$	$\pm 3$	—
Концентрация токсичности компонента в отработавших газах	$W_{тн}$	$\pm 0,1$	—

Синхронная частота  $n_c$  электрической машины должна быть ниже номинальной частоты  $n_{ном}$  вращения коленчатого вала двигателя не менее чем на 15...20%,  
 $n_{ном} \geq (1,15...1,2) n_c$ .

Максимальная частота  $n_{max}$  вала двигателя в режиме холодной обкатки должна быть ниже синхронной частоты  $n_c$  электрической машины не менее чем на 5%.

Не рекомендуется увеличивать частоту вращения электрической машины при ее работе в режиме генератора более чем в  $2 n_c$  раза.

При продолжительной работе стенда с заданной частотой вращения или близкой к ней не рекомендуется допускать величину крутящего момента более 0,9 величины номинального крутящего момента электрической машины. Кроме того, стенды должны быть укомплектованы необходимыми приборами для измерения всех параметров.

При обкатке и испытании двигателей, кроме технико-экономических показателей, определяют температуру поверхностей деталей, охлаждающей воды, масла и др. Для получения достоверных результатов необходимо контролируемые показатели измерять с определенной точностью, установленной стандартом (табл. 17).

# 4

## ОЦЕНОЧНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБАХ ОБКАТКИ ДВИГАТЕЛЕЙ

### 1. ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ

Сравнение эталонных образцов гильз цилиндров после обкатки с применением электрического тока и сернистой присадки в картерное масло показывает, что шероховатость приближается к оптимальной (эксплуатационной) после 30-часовой приработки двигателя. При проверке 86 образцов гильз цилиндров было установлено, что 34 образца имеют наименьшую шероховатость (0,1...0,2 мкм). Это соответствует 9...10-му классу чистоты.

В таблице 18 приведены данные по шероховатости гильз цилиндров и компрессионных колец двигателей, приработанных различными методами.

Из таблицы видно, что лучшие показатели по шероховатости имеют поверхности гильз, приработанные электрическим током ( $\bar{x}=0,15$  мкм). Худшие показатели у приработанных по ТУ ГОСНИТИ ( $\bar{x}=0,30$  мкм) и с присадкой серы ( $\bar{x}=0,50$  мкм).

Шероховатость  $\bar{x}$  первого компрессионного кольца после приработки с электрическим током имеет колебание от 1,3 до 1,9 мкм (при «+» и «—» полярности), в то время как при приработке с применением осерненной смазки средняя шероховатость  $\bar{x}$  колеблется в пределах 2,5 мкм, а у эталонного двигателя — 2,4 мкм. Величина среднеквадратического отклонения  $S$  первого кольца при приработке с электрическим током меньше, чем у эталонных двигателей и двигателей, приработанных на осерненных маслах. Она колеблется в пределах 0,3...0,5 мкм, в то время как у эталонных и приработанных с присадкой серы  $S=0,49...0,79$  мкм.

При приработке с электрическим током средняя величина шероховатости  $\bar{x}$  изменяется от 1,3 мкм (при «—» полярности) до 1,5 мкм (при «+» полярности), а

## 18. Сравнительные данные по шероховатости деталей двигателя СМД-14 после приработки (мкм)

Метод обкатки	Продолжительность обкатки, мин	Сравниваемые расчетные значения (РГМ 41-62)		
		$\bar{x}$	N	S
<i>Гильза цилиндров</i>				
С пропусканьем электрического тока	90	0,15	71	0,03
На масле с присадкой серы	180	0,50	72	0,2
По ТУ ГОСНИТИ	180	0,30	72	0,2
<i>Первое компрессионное кольцо</i>				
С пропусканьем электрического тока (плюс на коленчатом валу)	90	1,9	45	0,5
С пропусканьем электрического тока (минус на коленчатом валу)	90	1,3	24	0,3
На масле с присадкой серы	180	2,5	36	0,49
По ТУ ГОСНИТИ	180	2,4	36	0,79
<i>Второе и третье компрессионные кольца</i>				
С пропусканьем электрического тока (плюс на коленчатом валу)	90	1,5	76	0,2
С пропусканьем электрического тока (минус на коленчатом валу)	90	1,3	48	0,2
На масле с присадкой серы	180	1,43	72	0,78
По ТУ ГОСНИТИ	180	1,73	72	0,6

Примечание.  $\bar{x}$  — средняя величина шероховатости, мкм; N — число повторностей опыта; S — среднеквадратическое отклонение.

среднеквадратическое отклонение  $S=0,2$  мкм (при «+» и «—» полярности).

При приработке двигателей с присадкой в масло эталонные двигатели имеют значительно большую шероховатость. С присадкой серы  $\bar{x}=1,43$  мкм и по ТУ ГОСНИТИ — 1,73 мкм.

## 2. ИЗНОС ДЕТАЛЕЙ

В таблице 19 приведены сравнительные данные по износу гильз цилиндров и поршневых колец во время приработки двигателей СМД-14.

## 3. ТВЕРДОСТЬ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ

В процессе приработки значительно меняется твердость трущихся поверхностей. Во время пропускания

### 19. Сравнительные данные по износу деталей двигателя СМД-14 за период приработки (мкм)

Метод приработки	Продолжительность приработки, мин	Сравниваемые расчетные значения		
		$\bar{y}$	$N$	$S$
<i>Гильза цилиндров</i>				
С пропуском электрического тока (плюс на коленчатом валу)	90	1,3	124	0,4
С пропуском электрического тока (минус на коленчатом валу)	90	3,0	107	2,2
На масле с присадкой серы	180	1,45	106	1,55
По ТУ ГОСНИТИ	180	1,02	36	0,73

#### *Первое компрессионное кольцо*

С пропуском электрического тока (плюс на коленчатом валу)	90	11,0	38	6,8
С пропуском электрического тока (минус на коленчатом валу)	90	25,6	27	11,0
На масле с присадкой серы	180	8,7	160	8,6
По ТУ ГОСНИТИ	180	12,0	36	12,0

#### *Второе и третье компрессионные кольца*

С пропуском электрического тока (плюс на коленчатом валу)	90	9,0	126	7,4
С пропуском электрического тока (минус на коленчатом валу)	90	19,0	66	13,0
На масле с присадкой серы	180	12,1	68	12,9
По ТУ ГОСНИТИ	180	8,7	160	8,8

Примечание.  $\bar{y}$  — средняя величина износа;  $N$  — число повторностей опыта;  $S$  — среднеквадратическое отклонение.

электрического тока к деталям двигателя при воздействии механических сил и сил давления газов значение твердости повышается. Это происходит за счет вторичной закалки микроучастков в местах пробоя.

На рисунке 26 приведены сравнительные экспериментальные кривые микротвердости образцов гильз цилиндров двигателей СМД-14, приработанных с применением: технологии и режимов ГОСНИТИ, а также ускоренных технологий с применением сернистой присадки в картерное масло, в топливо и с пропуском электрического тока. Для сравнения на графике даны значения микротвердости новых гильз после заводского изготовления.

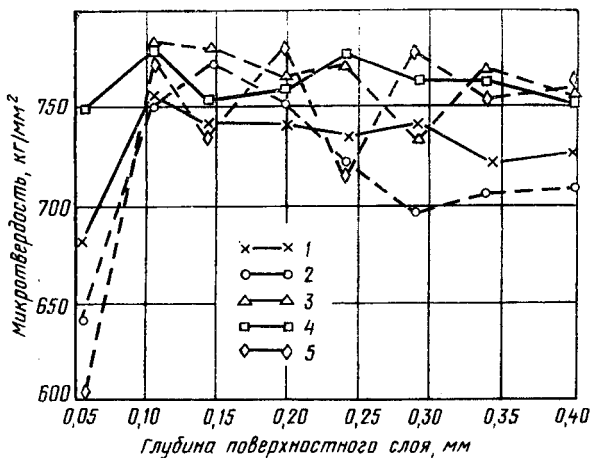


Рис. 26. Экспериментальные кривые микротвердости поверхностей гильз цилиндров двигателей СМД-14, приработанных различными способами:

1 — гильза новая; 2 — по ТУ ГОСНИТИ; 3 — с электрическим током; 4 — с сернистой присадкой в масле; 5 — с присадкой в топливо.

Микротвердость поверхности определялась с помощью твердомера ПМТ-3 на глубину до  $4 \times 10^{-4}$  м от образующей части зеркала цилиндров.

Анализ показал, что микротвердость поверхностей шлифов гильз двигателей СМД-14, приработанных различными методами, при толщине слоя от  $5 \times 10^{-5}$  до  $4 \times 10^{-4}$  м колеблется в пределах  $6,86 \times 10^9 \dots 7,69 \times 10^9$  Н/м<sup>2</sup>. Из графика видно, что микротвердость новой гильзы значительно меньше микротвердости гильз, приработанных любым из анализируемых методов.

На рисунке 27 приведены кривые распределения макротвердости образцов вырезок с цилиндров двигателей, приработанных различными методами.

В таблице 20 приведены сравнительные значения твердости для различных способов обкатки двигателей. Из таблицы видно, что поверхности гильз цилиндров имеют неодинаковую твердость. Максимальное значение твердости наблюдается у гильз, приработанных с электрическим током.

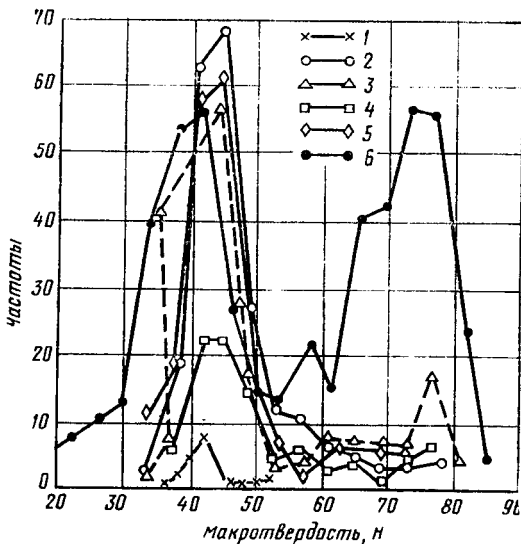


Рис. 27. Кривые распределения макротвердости образцов вырезок с цилиндров двигателей:

1 — гильза новая; 2 — обкатана по ТУ ГОСНИТИ; 3 — обкатана с электрическим током; 4 — обкатана на масле ОМ-2; 5 — обкатана на топливе с присадкой АЛП-2; 6 — гильза двигателя Д-50 обкатана с электрическим током.

Анализ показал, что меньшую твердость имеют новые гильзы ( $\bar{x}=43$ ), а также гильзы, приработанные с присадкой АЛП-2 в топливо ( $\bar{x}=35$ ) и в масло ОМ-2 ( $\bar{x}=50,2$ ). Способ приработки деталей с применением электрического тока обеспечивает большую твердость их поверхности (на 13 единиц). Это повышает износостойкость деталей.

#### 4. ДАННЫЕ РЕНТГЕНСПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА ПОВЕРХНОСТНОЙ СТРУКТУРЫ ДЕТАЛЕЙ

Для количественного анализа поверхностей деталей можно использовать спектральную линию  $K_{\alpha}^*$ . Для определения отношений интенсивности спектральной линии  $i$ -го образца и эталона пользуются формулой:

$$K_i = I_i / I_i^{\circ}$$

\* По И. Б. Боровскому.

**20. Твердость поверхностей гильз цилиндров двигателей,  
приработанных различными способами**

Способ применяемой обкатки	Марка двигателя	Расчетные значения		
		$\bar{z}$	S	V
Гильза новая	СМД-14	43,0	4,1	0,095
Приработана по ТУ ГОСНИТИ	СМД-14	47,0	7,0	0,15
Приработана с применением электрического тока	СМД-14	52,0	12,0	0,23
Приработана с применением масла ОМ-2	СМД-14	50,2	11,27	0,22
Приработана с применением присадки АЛП-2 в топливо	СМД-14	45,0	9,0	0,2
Приработана с применением электрического тока	Д-50	56,0	17,86	0,32

Примечание.  $\bar{z}$  — средняя величина твердости; S — среднеквадратическое отклонение; V — коэффициент вариации.

**21. Коэффициенты интенсивности  $K_i$  характеристических спектральных излучений элементов на поверхности образцов гильз цилиндров дизелей, приработанных различными способами**

Способ приработки	Интенсивность спектральных излучений $K_\alpha$	Расчетное значение $K_i = \frac{I_i}{I_i^э}$
Дизель СМД-14		
По ТУ ГОСНИТИ (эталон)	42 303	1
С присадкой серы	42 615	1,005
С присадкой АЛП-2 в дизельное топливо	39 190	0,942
На масле ОМ-2	37 190	0,975
С применением электрического тока (1-й образец)	41 482	0,876
С применением электрического тока (2-й образец)	51 903	1,23
Дизель Д-50		
С применением электрического тока (1-й участок)	53 319	1,26
С применением электрического тока (2-й участок)	50 188	1,17
С применением электрического тока (3-й участок)	51 150	1,21



где  $I_i$  — интенсивность спектральных линий исследуемого образца;  $I^0_i$  — интенсивность спектральных линий эталонного образца;  $K_i$  — отношение интенсивности спектральных линий  $i$ -го образца к интенсивности линий эталонного образца.

Использованы данные значений энергии характеристических линий  $K_\alpha$  интенсивности спектральных линий исследуемого и эталонного образцов.

В таблице 21 приведены средние значения интенсивности характеристических излучений составляющих элементов поверхностей образцов гильз цилиндров дизелей, приработанных различными способами. Поверхности зондируемых образцов исследовались на глубину до 10 мкм. Анализ результатов исследований показал, что интенсивность излучений  $K_\alpha$ -лучей в значительной степени зависит от способа обкатки двигателя. Интенсивность  $K_\alpha$ -лучей эталонного образца (обкатка по ТУ ГОСНИТИ)  $I_i = 42\,303$  ед. Принимая расчетное значение коэффициента  $K_{i\text{этал}} = 1$ , можно легко подсчитать значения коэффициентов спектральных линий при других способах приработки. Интенсивность спектральных излучений образца гильзы после приработки с присадкой коллоидной серы  $I_{i\text{серы}} = 42\,615$  ед., коэффициент  $K_{i\text{серы}}$  будет равен 1,005 (концентрация несколько выше, чем у эталонного образца). Это показывает, что удельная плотность окисной пленки на участке зондирования у гильзы, приработанной с применением электрического тока, выше, и значит, в этом случае поверхность лучше подготовлена. Аналогично  $I_{i\text{алп}} = 39\,190$  ед., что соответствует коэффициенту  $K_{i\text{алп-2}}$ , равному 0,942. При этом поверхность получается более рыхлой, чем поверхность, приработанная с присадкой серы. Значение интенсивности излучений после приработки на масле ОМ-2 несколько больше ( $I_{i\text{ом-2}} = 37\,190$ ,  $K_{i\text{ом-2}} = 0,975$ ), чем с присадкой АЛП-2, но хуже, чем интенсивность эталонного образца. Для определения интенсивности рентгеновских излучений поверхностей деталей после приработки с электрическим током рассматривались два образца вырезок с гильз дизеля СМД-14 и один образец дизеля Д-50 (с определением на трех участках). Во всех случаях удельная плотность интенсивности рентгеновских излучений была выше, чем при других способах приработки. Это свидетельствует о лучшей приработке поверхностей деталей при ускоренной обкатке двигателей с применением электрического тока по сравнению со всеми другими способами.

## 1. Режимы холодной обкатки дизелей по ТУ ГОСНИТИ

Модель дизеля	Ступени этапа обкатки												Продолжительность этапа, мин
	1-я			2-я			3-я			4-я			
	Частота вращения		Продолжительность, мин	Частота вращения		Продолжительность, мин	Частота вращения		Продолжительность, мин	Частота вращения		Продолжительность, мин	
	мин <sup>-1</sup> (об/мин)	% от $n_H$		мин <sup>-1</sup> (об/мин)	% от $n_H$		мин <sup>-1</sup> (об/мин)	% от $n_H$		мин <sup>-1</sup> (об/мин)	% от $n_H$		
Д-21А1	800...900	45...50	5	1400...1500	72...83	10	—	—	—	—	—	—	15
Д-144-32 (36, 40)	800...900	45...50	15	900...1100	50...61	20	—	—	—	—	—	—	35
Д-144-07	800...900	40...45	15	900...1100	45...56	20	—	—	—	—	—	—	35
Д-65Н (М, М1, Н1)	500...650	29...34	20	700...900	40...51	15	—	—	—	—	—	—	35
Д-65Т (ЛС)	500...650	31...40	20	700...900	43...56	15	—	—	—	—	—	—	35
Д-240 (Л)	500...600	22...27	10	700...800	33...36	10	900...950	41...43	10	—	—	—	30
Д-241 (Л)	500...600	24...29	10	700...800	33...38	10	900...950	43...45	10	—	—	—	30
Д-242 (Л)	500...600	27...33	10	700...800	38...44	10	900...950	52...53	10	—	—	—	30
СМД-14Н (НГ, АН, БН, 15Б)	600...700	33...39	15	900...1000	50...55	15	1300...1400	72...77	20	—	—	—	50
СМД-17Н (БН, 18Н)	600...700	33...39	15	900...1000	50...55	15	1300...1400	72...77	20	—	—	—	50
СМД-17КН (18КН)	600...700	32...37	15	900...1000	47...52	15	1300...1400	68...73	20	—	—	—	50
СМД-19 (20)	600...700	32...37	15	900...1000	47...52	15	1300...1400	68...73	20	—	—	—	50
СМД-21 (22)	600...700	32...37	15	900...1000	47...52	15	1300...1400	68...73	20	—	—	—	50
СМД-60 (61, 64, 65, 68)	400...500	20...25	5	700...800	35...40	5	950...1050	47...52	5	1400...1500	70...75	5	20
СМД-62 (62Т, 63, 68Д)	400...500	19...24	5	700...800	33...38	5	950...1050	45...50	5	1400...1500	66...71	5	20
СМД-72 (73)	400...500	19...24	5	700...800	33...38	5	950...1050	45...50	5	1400...1500	66...71	5	20
А-41	700...800	40...46	10	1400...1500	80...86	15	—	—	—	—	—	—	25
А-01МД (МК)	700...800	41...47	10	1400...1500	82...88	15	—	—	—	—	—	—	25
Д-160	400...500	32...40	15	900	72	40	—	—	—	—	—	—	55
Д-160Б	400...450	37...42	5	900	84	25	—	—	—	—	—	—	30
ЯМЗ-238НБ	800	47	5	1200	70	10	1400	82	5	—	—	—	20
ЯМЗ-240Б	1000	52	10	1200	63	10	1400	74	10	—	—	—	30

Примечание.  $n_H$  — номинальная частота вращения коленчатого вала дизеля.

## 2. Режимы обкатки дизелей на холостом ходу по ТУ ГОСНИТИ

Модель дизеля	Ступени этапа обкатки									Продолжительность этапа, мин	Давление масла, МПа (кгс/см <sup>2</sup> )
	1-я			2-я			3-я				
	Частота вращения		Продолжительность, мин	Частота вращения		Продолжительность, мин	Частота вращения		Продолжительность, мин		
	мин <sup>-1</sup> (об/мин)	% от n <sub>н</sub>		мин <sup>-1</sup> (об/мин)	% от n <sub>н</sub>		мин <sup>-1</sup> (об/мин)	% от n <sub>н</sub>			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Д-21А1	1200...1300	66...72	10 *	1400...1600	77...90	10	1800...1950	100...111	10	30	0,15...0,35 (1,5...3,5)
Д-144-32 (36, 40)	1200...1300	66...72	10	1400...1600	77...89	10	1800...1950	100...111	10	30	0,15...0,35 (1,5...3,5)
Д-144-07	1200...1300	60...65	10	1400...1600	70...80	10	1800...2000	90...100	10	30	0,15...0,35 (1,5...3,5)
Д-65Н (М, Н1, М1)	1100...1200	63...68	20	—	—	—	—	—	—	20	0,2...0,35(2,0...3,5)
Д-65Т (ЛС)	1000...1200	69...75	20	—	—	—	—	—	—	20	0,2...0,35(2,0...3,5)
Д-240 (Л)	1000	45	5	плавно (1400...1800)	63...82	10	2380	103	5	20	не менее 0,2 (2,0)
Д-241 (Л)	1000	47	5	плавно (1400...1800)	66...86	10	2275	103	5	20	не менее 0,2 (2,0)
Д-242 (Л)	1000	55	5	плавно (1400...1800)	77...100	10	1975	103	5	20	не менее 0,2 (2,0)
СМД-14Н (НГ, АН, БН, 15Б)	1500	83	10	1900	105	10	—	—	—	20	0,25...0,45 (2,5...4,5)
СМД-17Н (БН, 18Н)	1600	89	10	2000	111	10	—	—	—	20	0,25...0,45 (2,5...4,5)
СМД-17КН (18КН)	1600	84	10	2000	105	10	—	—	—	20	0,25...0,45 (2,5...4,5)
СМД-19 (20)	1600	84	10	2000	105	10	—	—	—	20	0,25...0,45 (2,5...4,5)

Модель дизеля	Ступени этапа обкатки									Продолжительность этапа, мин	Давление масла, МПа (кгс/см <sup>2</sup> )
	1-я			2-я			3-я				
	Частота вращения		Продолжи- тельность, мин	Частота вращения		Продолжи- тельность, мин	Частота вращения		Продолжи- тельность, мин		
	мин <sup>-1</sup> (об/мин)	% от $n_H$		мин <sup>-1</sup> (об/мин)	% от $n_H$		мин <sup>-1</sup> (об/мин)	% от $n_H$			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
СМД-21 (22)	1600	84	10	2000	105	10	—	—	—	20	0,25...0,45 (2,5...4,5)
СМД-60 (61, 64, 65, 68)	плавно 800...2100	42...10	3	—	—	—	—	—	—	3	0,25...0,4 (2,5...4,0)
СМД-62 (62Т, 63, 68Д)	плавно 800...2100	38...100	3	—	—	—	—	—	—	3	0,25...0,4 (2,5...4,0)
СМД-72 (73)	плавно 800...2100	38...100	3	—	—	—	—	—	—	3	0,25...0,4 (2,5...4,0)
А-41	плавно 700...1920	40...109	5	—	—	—	—	—	—	5	0,3...0,5 (3,0...5,0)
А-01МД (МК)	плавно 700...1840	41...103	5	—	—	—	—	—	—	5	0,3...0,5 (3,0...5,0)
Д-160	500	40	10	плавно до 1250	до 100	10	—	—	—	20	0,2...0,35 (2,0...3,5)
Д-160Б	500	47	10	плавно до 1070	до 100	10	—	—	—	20	0,2...0,35 (2,0...3,5)
ЯМЗ-238НБ	1500	80	15	1700	100	15	—	—	—	30	0,45...0,65 (4,5...6,5)
ЯМЗ-240Б	1500	79	10	—	—	—	—	—	—	10	0,45...0,7 (4,5...7,0)

Примечание. Температуры охлаждающей жидкости и масла в процессе обкатки дизелей должны соответствовать 60...95 °С.

### 3. Режимы обкатки дизелей под нагрузкой по ТУ ГОСНИТИ

Модель дизеля	Ступени обкатки											
	1-я			2-я			3-я			4-я		
	Крутящий момент		Продолжи- тельность, мин	Крутящий момент		Продолжи- тельность, мин	Крутящий момент		Продолжи- тельность, мин	Крутящий момент		Продолжи- тельность, мин
	Н·м (кгс·м)	% от $M_{KH}$		Н·м (кгс·м)	% от $M_{KH}$		Н·м (кгс·м)	% от $M_{KH}$		Н·м (кгс·м)	% от $M_{KH}$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Д-21А1	20(2)	19	10	47(5)	45	10	63(6)	61	10	78(8)	75	10
Д-144-32(36, 40)	36(4)	18	10	91(9)	45	10	128(13)	64	10	175(18)	87	30
Д-144-07	32(3)	14	10	45(5)	20	10	65(7)	30	10	120(12)	54	10
Д-65Н (М, Н1, М1)	135(4)	33	10	185(19)	75	10	210(21)	86	10	238(24)	97	10
Д-65Т (ЛС)	71(7)	31	10	130(13)	57	10	184(18)	81	10	225(23)	98	10
Д-240(Л)	44(4)	17	10	63(6)	25	10	98(10)	39	15	165(17)	66	20
Д-241(Л)	40(4)	17	10	65(7)	27	10	100(10)	42	15	165(17)	66	20
Д-242(Л)	40(4)	17	10	77(8)	32	10	116(12)	48	15	186(19)	77	45
СМД-14НГ (Н, АН, БН, 15Н)	112(11)	34	20	190(19)	58	20	265(27)	81	20	290(29)	88	20
СМД-17Н (18Н)	122(12)	33	20	243(24)	66	20	324(32)	88	20	358(36)	97	20
СМД-17КН (18КН)	120(12)	32	20	228(23)	62	20	300(30)	81	20	325(33)	88	20
СМД-19(20)	135(14)	29	20	245(25)	54	20	320(32)	71	20	370(37)	82	20

Модель дизеля	Ступени обкатки											
	1-я			2-я			3-я			4-я		
	Крутящий момент		Продолжительность, мин	Крутящий момент		Продолжительность, мин	Крутящий момент		Продолжительность, мин	Крутящий момент		Продолжительность, мин
	Н·м (кгс·м)	% от $M_{KH}$		Н·м (кгс·м)	% от $M_{KH}$		Н·м (кгс·м)	% от $M_{KH}$		Н·м (кгс·м)	% от $M_{KH}$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
СМД-21 (22)	148(15)	28	20	242(24)	46	20	322(32)	61	20	370(37)	70	20
СМД-60 (61, 68)	73(7)	13	15	160(16)	30	15	270(27)	51	20	410(41)	77	40
СМД-62 (62Г, 63, 68Д)	65(7)	11	15	170(17)	31	15	270(27)	49	20	380(38)	69	20
СМД-64 (65)	75(8)	13	15	195(19)	34	15	300(30)	52	20	450(45)	77	20
СМД-72 (73)	70(7)	11	10	180(18)	26	10	270(27)	40	15	400(40)	58	20
А-41	80(8)	21	5	170(17)	45	5	260(26)	68	10	320(32)	84	20
А-01МД (МК)	80(8)	15	5	245(25)	46	5	390(39)	73	10	450(45)	85	20
Д-160	330(33)	36	10	560(56)	62	10	710(71)	78	12	855(86)	94	5
Д-160Б	230(23)	25	10	465(47)	52	15	700(70)	78	3	435(44)	48	5
ЯМЗ-238НБ	300(30)	37	20	360(36)	44	20	610(61)	75	20	750(75)	92	20
ЯМЗ-240Б	190(19)	18	20	300(30)	28	30	380(38)	36	30	540(55)	52	30

Примечания. 1.  $M_{KH}$  — крутящий момент на режиме номинальной мощности. 2. Температуры охлаждающей жидкости и масла в процессе обкатки дизелей должны соответствовать 70...95 °С.

## ЛИТЕРАТУРА

- Ардашев Г. Р., Михайлов И. Н., Моршин А. В. Техническое обслуживание машинно-тракторного парка. — М.: Колос, 1970.
- Аскинази Б. М. Упрочение и восстановление деталей электро-механической обработкой. — Л.: Машиностроение, 1968.
- Арабян С. Г., Холомонов И. А. Ускоренная обкатка тракторных двигателей. — Тракторы и сельхозмашины, 1970, № 10.
- Бобровский В. А. Электродиффузионный износ инструмента. — М.: Машиностроение, 1970.
- Декобрун И. Е. Контакты аппаратов низкого напряжения. — В кн.: Электрические машины и аппараты. — М.: ВНИТИ, 1970.
- Дубров Ю. С., Николаева Г. С. Электроэрозионный износ режущих элементов и влияние электрических явлений на чистоту обработанной поверхности. — Сб. Электрические явления при трении и резании металлов. — М.: Наука, 1969.
- Костецкий Б. И. Трение, смазка и износ в машинах. — Киев: Техника, 1970.
- Лебедев Л. А. Об одном механизме электрического возбуждения твердых тел в условиях трения. — Сб. Электрические явления при трении, резании и смазке твердых тел. — М.: Наука, 1973.
- Нигаматов М. Х. Ускоренная обкатка двигателей. — Техника в сельском хозяйстве, № 1, 1978.
- Нигаматов М. Х. Применение электрического тока для приработки дизелей. — Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства, № 12, 1981.
- Новое в электрофизической и электрохимической обработке материалов/Под ред. Л. Я. Попилова. — Л.: Машиностроение, 1972.
- Старосельский А. А. Долговечность трущихся деталей машин. — М.: Машиностроение, 1969.
- Ульман И. Е. Ремонт машин. — М.: Колос, 1976.
- Цыпцын В. И. Исследование влияния присадок к маслу и топливу на ускорение приработки и повышение износостойкости деталей тракторного дизельного двигателя. Автореферат дисс. на соискание уч. степ. канд. техн. наук. — Саратов: 1976.

# ОГЛАВЛЕНИЕ

<i>Предисловие</i> . . . . .	3
<b>Глава 1. Общие сведения</b>	
1. Обкатка отремонтированных двигателей . . . . .	5
2. Влияние ремонта на взаимное расположение поверхностей деталей . . . . .	7
3. Формирование поверхности деталей при обкатке . . . . .	10
4. Технические требования к дизелям после обкатки . . . . .	13
5. Оценка приработанности поверхностей деталей после обкатки . . . . .	13
<b>Глава 2. Методы ускоренной обкатки отремонтированных двигателей</b>	
1. Способы ускоренной обкатки . . . . .	18
2. Ускоренная обкатка двигателей с применением осерненной присадки в картерном масле . . . . .	19
3. Ускоренная обкатка двигателей с применением специальных масел ОМ-2 и ОКМ . . . . .	24
4. Ускоренная обкатка двигателей с применением присадки АЛП-2 к дизельному топливу . . . . .	26
5. Ускоренная обкатка двигателей с применением мелкодисперсной абразивной присадки . . . . .	29
6. Ускоренная обкатка двигателей с применением электрического тока . . . . .	32
<b>Глава 3. Эффективность внедрения ускоренной обкатки двигателей</b>	
1. Использование на производстве . . . . .	52
2. Экономическая эффективность . . . . .	55
3. Применяемое оборудование . . . . .	59
<b>Глава 4. Оценочные параметры при различных способах обкатки двигателей</b>	
1. Шероховатость поверхностей деталей . . . . .	66
2. Износ деталей . . . . .	67
3. Твердость поверхностей деталей . . . . .	67
4. Данные рентгеноспектрального анализа поверхностной структуры деталей . . . . .	70
<i>Приложения</i> . . . . .	73
<i>Литература</i> . . . . .	78



---

**Мидхат Хисамитович Нигаматов**

**Ускоренная обкатка двигателей  
после ремонта**

Заведующая редакцией *Л. И. Чичева*

Редактор *О. М. Иванова*

Художник *Н. Н. Аникушин*

Художественный редактор *М. Д. Северина*

Технический редактор *В. Ю. Маркова*

Корректоры *Д. Е. Ткачева, М. И. Батищева,*  
*Н. Н. Михайлова*

**ИБ № 3517**

---

Сдано в набор 22.02.84. Подписано к печати 01.06.84.  
Т-12250. Формат 84×108<sup>1</sup>/<sub>32</sub>. Бум лен, ми. ап. Гарнитура  
литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 4,2.  
Усл. кр.-отт. 4,41. Уч. изд. л. 4,26. Изд. № 134. Тираж  
35 000 экз. Заказ № 2295 Цена 15 коп.

---

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Колос», 107807, ГСП, Москва, Б-53, ул. Садовая-Спасская, 18.

Областная типография управления издательств, полиграфии и книжной торговли Ивановского облисполкома,  
153628, г. Иваново, ул. Типографская, 6.

15 коп.



*М.Х. Нугаматов*

**УСКОРЕННАЯ  
ОБКАТКА  
ДВИГАТЕЛЕЙ  
ПОСЛЕ  
РЕМОНТА**