

7.2. Стендовые испытания судовых дизелей типа ЧН 25/34

С целью выявления эффективности разработанных мероприятий был проведен ряд стендовых испытаний дизелей 6ЧН 25/34, 8ЧН 25/34 и 6ЧН 26/34 в экспериментальном цеху завода “Первомайскдизельмаш” (бывший Первомайский машиностроительный завод им. 25-го октября). В процессе испытаний определялась эффективность следующих мероприятий:

- подбор оптимального сорта масла, приработочной присадки к нему и срока службы;
- нанесение регулярного микрорельефа на рабочую поверхность втулки цилиндра;
- макропрофилирование поверхности поршня;
- влияние переменной износостойкости рабочей поверхности втулки цилиндра на угар масла;
- определение ресурса двигателя до первой переборки и капитального ремонта;
- работоспособность деталей двигателя при использовании тяжелого топлива;
- влияние температуры воды и масла на параметры дизеля.

Рассмотрим более подробно каждый вид испытаний.

7.1.1. Подбор оптимальной присадки к смазке. С целью ускорения процесса приработки поверхностей и сокращения периода обкатки используются различные присадки к маслу. Но для дизеля с большим количеством трущихся пар возникают трудности с подбором наиболее эффективной. Так, применение химически активных присадок вызывает ряд нежелательных процессов:

- снижается микротвердость трущихся поверхностей;
- наблюдается коррозионное разрушение деталей из сплавов на основе цветных металлов;

– по-разному прирабатываются сопряжения, работающие при различных скоростях, давлениях, температурах и условиях смазки.

Абразивные присадки (на основе окиси железа, окиси алюминия и т.д.) приводят к интенсивному износу трущихся поверхностей и шаржированию абразива в более мягкую основу детали. Испытана присадка, разработанная Институтом неорганической химии АН Белоруссии с принципиально новым характером воздействия на прирабатываемую поверхность. Присадка представляет собой аморфный порошок, частицы которого имеют вид микросфер диаметром 0,1...1 мкм. Попадая вместе с маслом в зону трения, присадка действует следующим образом:

– заполняет впадины в микронеровностях, увеличивая площадь контакта и препятствуя появлению задиров и повышенных износов в начальный период приработки;

– частицы присадки, попадая между трущимися поверхностями, «укатывают» вершины микронеровностей, повышая относительную опорную поверхность профиля, улучшая условия трения.

Присадка обладает следующими свойствами:

– возможностью применения с маслами в широком диапазоне значений вязкости;

– химической нейтральностью к материалам деталей трущихся пар;

– увеличением микротвердости поверхностей трения;

– ускорением пластической деформации поверхностного слоя и увеличением площади контакта;

– обеспечением быстрой и качественной приработки трущихся пар дизеля;

– активным адсорбированием продуктов окисления масла.

Обкатке на масле М10Г₂ЦС с использованием присадки были подвергнуты 11 дизелей 6ЧН 25/34. При этом отрабатывалась технология ввода присадки в масло и характер ее воздействия на состояние деталей

цилиндропоршневой группы и вкладышей коленчатого вала. Были получены следующие результаты:

- улучшилось качество приработки втулок цилиндров и поршневых колец с одновременным сокращением продолжительности обкатки в два раза;
- площадь приработанной поверхности вкладышей увеличилась с 80...85 % до 90...98 %;
- механический КПД дизеля возрос на 1,5 %, при этом стабильные значения его достигаются через 25 часов работы дизеля. При обкатке на масле без присадки стабилизация значений механического КПД обеспечивается только через 60...70 ч работы дизеля.

Присадка к маслу вводится после обкатки дизеля на холостом ходу в течение часа. Требуемое количество присадки (из расчета 5 г на 1 л масла) размешивалось в отдельной емкости в 5 литрах масла и заливалось в маслобак работающего на холостом ходу дизеля с обязательным отключением центрифуги.

После обкатки масло сливалось из маслобака и картера. Дополнительной промывки дизеля не требуется. Регенерация масла осуществлялась очисткой его в сепараторе.

Обкатано 13 дизелей 6ЧН 25/34 на масле с присадкой по сокращенному циклу и передано в эксплуатацию.

7.1.2. Нанесение регулярного микрорельефа на рабочую поверхность втулки цилиндра. Одним из способов улучшения условий смазки втулок цилиндра является увеличение ее маслостойкости за счет нанесения на рабочую поверхность специального регулярного микрорельефа. Наиболее простым и доступным способом создания микрорельефа является вибронакатывание шариковым накатником диаметром 6 мм в виде винтовой канавки постоянного шага, при котором угол между направлением движения трущихся деталей и канавками максимально приближен к 1,57 рад, что обеспечивает оптимальную циркуляцию смазки

между канавками. Обработка проводилась между черновым и чистовым хонингованием.

Испытывался дизель 6ЧН 25/34-6 мощностью 440 кВт, входящий в состав дизель-генератора ДГР 400/500-3, укомплектованный втулками цилиндров с нанесением микрорельефа и серийными. Определялся механический КПД дизеля методом выбега, и снималась нагрузочная характеристика. После наработки дизелем 1044 часа проводился микрометраж.

Через каждые 100 часов работы дизеля снималась нагрузочная характеристика и определялся механический КПД.

По данным микрометража, средний износ серийных втулок цилиндров составил 0,025 мм, для накатанных – 0,013 мм, т.е. уменьшился в два раза. Средний радиальный износ компрессионных колец составил соответственно 0,063 и 0,040 мм, т.е. уменьшился в 1,5 раза.

Однако испытания показали, что глубина нанесенных канавок недостаточна, так как после 1000 часов работы маслоудерживающий рельеф срабатывается. Таким образом, регулярный микрорельеф является эффективным средством улучшения условий трения в период обкатки дизеля, а не оказывает существенного влияния на ресурс дизеля до капитального ремонта.

7.1.3. Макропрофилирование поверхности поршня. Зазор между тронком поршня и втулкой цилиндра существенно влияет на радиальное и угловое перемещение поршня при его перекидке. Уменьшение зазора снижает динамические нагрузки при перекидке, уровень шума и вибрации, кавитацию наружной поверхности втулки. Уменьшение зазора между головкой поршня и втулкой снижает давление и температуру газов в закольцевом пространстве, что улучшает условия работы верхних компрессионных колец, при этом снижается давление колец на рабочую поверхность втулки цилиндра и уменьшается износ поршневых колец и втулки. Также уменьшается угар масла. В связи с этим наиболее эффективна

овально-бочкообразная форма тронка поршня, позволяющая обеспечить минимальные зазоры без ухудшения надежности работы деталей ЦПГ.

Испытывались цилиндрические, бочкообразные и овално-бочкообразные поршни. Опытные поршни прошли испытания на дизель-генераторе ДГР 500/500. При испытаниях определялся удельный расход масла на угар, а также механический КПД дизель-генератора. Так, механический КПД дизель-генератора ДГР 500/500 при цилиндрическом поршне составил 0,81, бочкообразном и овално-бочкообразном – 0,82. Удельный расход масла на угар при цилиндрических, бочкообразных и овално-бочкообразных тронках поршней составил соответственно 2,2; 1,95 и 1,85 г/кВт·час, таким образом снизившись на 15 %.

7.1.4. Использование втулок цилиндров с переменной износостойкостью рабочей поверхности. Максимальная эффективность в снижении расхода масла на угар была получена при применении комплексно-легированного чугуна и центробежной отливки втулки с дифференцированным охлаждением для обеспечения заданной переменной износостойкости (рис. 7.11)

Таким образом, внедрение результатов проведенных работ позволило снизить удельный расход масла дизелей ЧН 25/34 с 2,0...2,7 г/кВт·ч. до 1,35...1,5 г/кВт·ч.

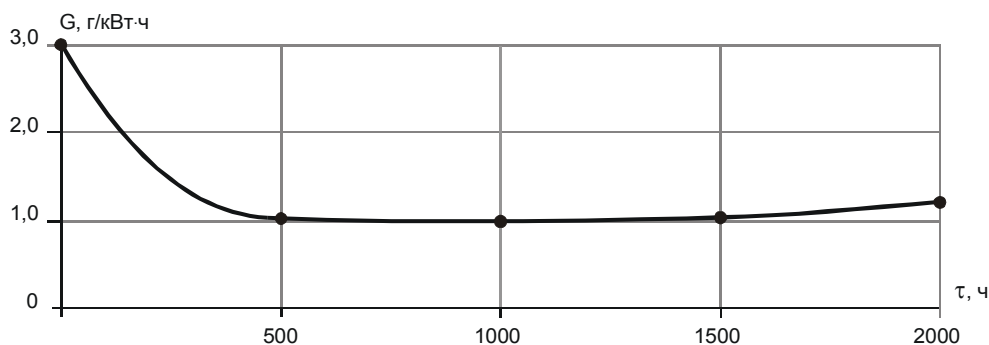


Рис. 7.11. Зависимость удельного расхода масла на угар от продолжительности работы дизеля 6ЧН 25/34-3

7.1.5. Испытания по определению ресурса дизеля до первой переборки и капитального ремонта. Ресурсные

испытания проводились на дизелях 8ЧН 25/34-3 в составе дизель-генераторов ДГР 500/500 (заводские номера – № 1 и № 2), установленных и эксплуатируемых на теплоходе “Командир Федько”. Также дизель 8ЧН 25/34-4 в составе дизель-генератора ДГА 500 испытывался на стенде завода. Дизель отработал без выемки поршней 2800 часов по программе ускоренных испытаний. Результаты микрометража представлены в табл. 7.2.

Динамика износов втулки цилиндров № 4 дизеля 6ЧН 25/34, заводской номер 2338, в составе дизель-генератора ДГР 320 при длительных ресурсных испытаниях представлена на рис. 7.12.

Для проверки эффективности разработанных конструкторско-технологических мероприятий были проведены длительные стендовые испытания судовых дизелей 6ЧН 25/34-3 в составе дизель-генератора мощностью 320 кВт и 8ЧН 25/34 в составе дизель-генераторов ДГР 500/500 и ДГА 500.

Дизель 6ЧН 25/34 испытывался на стенде завода “Первомайскдизельмаш” на режимах, близких к эксплуатационным. Более 80 % времени составили режимы 75...110 % номинальной нагрузки.

Таблица 7.2

Износы деталей дизелей ЧН 25/34 при длительных испытаниях

Наименование детали	Элементы	Износы, мм		
		Дизели		
		6ЧН 25/34-3 после 20030 часов	8ЧН 25/34-3 после 8655 часов	8ЧН 25/34-4 после 2800 часов
Втулка цилиндра	Диаметр в районе ВМТ	0,05...0,16	0,07...0,09	0,02...0,04
Поршень	Канавка верхнего кольца	0,04	—	0÷0,02
Кольцо компрессионное верхнее	Зазор в замке	1,03...2,03	0,12...0,41	0,04...0,25
Кольцо масляеёмное	Зазор в замке	1,07...1,58	0,28...0,95	0,05...0,24
Втулка верхней головки шатуна	Диаметр отверстия	0,01...0,03	—	—
Палец поршневой	Диаметр пальца	0...0,01	—	—
Шатунная шейка	Диаметр шейки	—	0,01...0,015	0,01...0,02
Вкладыши шатунной шейки	Толщина	—	—	0...0,02

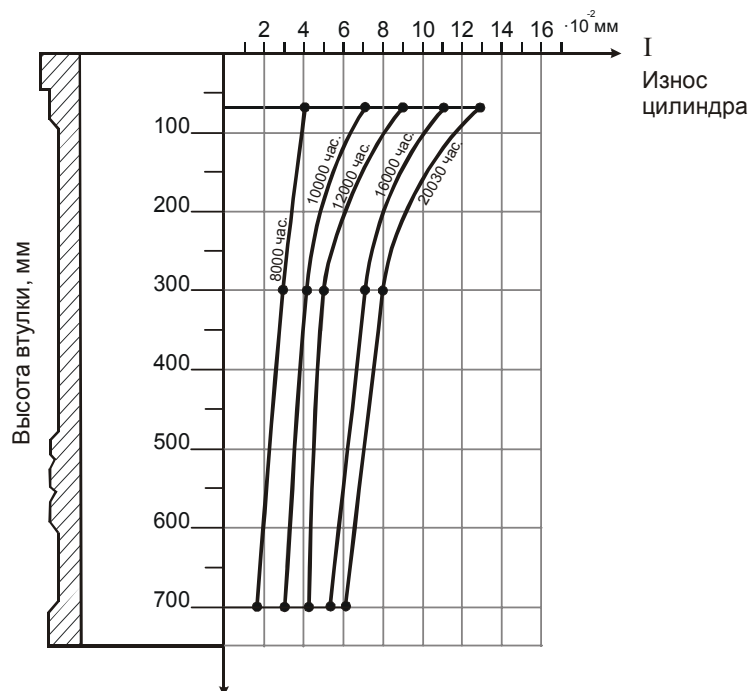


Рис. 7.11. Динамика изменения эпоры износа втулки цилиндра

Дизель отработал без выемки поршней первого, второго и пятого цилиндров 20030 часов. Для контрольного осмотра подвергались выемке и осмотру поршни цилиндров № 4 (через 8, 10, 12, 14 и 16 тысяч часов), № 6 (через 8 тысяч часов) и № 3 (через 10 тысяч часов).

Кроме того, через 6900 и 12000 часов были подняты соответственно крышки цилиндров № 4 и № 5 (без выемки поршней) для осмотра втулок цилиндров и проверки плотности клапанов.

В результате разборки и ревизии после испытаний было установлено, что все детали ЦПГ в удовлетворительном состоянии. Задиры на поверхностях втулок цилиндров, поршней и поршневых колец отсутствуют. Все поршневые кольца подвижны. В канавках под поршневые кольца незначительный (до 0,1 мм) слой нагара. Головки поршней имели нагар до 0,05 мм. Клапаны впускные и выпускные, не подвергавшиеся притирке весь период испытаний, плотно прилегали к седлам крышек цилиндров.

Таким образом, эффективность конструкторско-технологических изменений в повышении ресурса дизелей типа ЧН 25/34 подтверждена

испытаниями. В результате выполненных работ ресурсы дизелей ЧН 25/34 до первой переборки повышены в 2,5...3 раза и ресурсы до капитального ремонта – в 1,2...1,3 раза.

7.1.6. Исследование влияния температуры воды и масла на удельный расход топлива. Испытания проводились на дизеле 8ЧН 25/34-3. Повышение температуры циркуляционной охлаждающей воды на выходе из дизеля уменьшает потери тепла в окружающую среду и тем самым повышает индикаторный КПД. Увеличение температуры масла на входе в дизель снижает потери на трении в трущихся парах дизеля ввиду уменьшения вязкости масла и более интенсивного окисления поверхностей трения и образования лаковых пленок [99]. Также за счет масляного охлаждения поршня сокращается теплоотвод через поршень и возрастает индикаторный КПД.

Полученные результаты испытаний для номинального режима работы дизеля представлены на рис. 7.13, 7.14.

При повышении температуры масла на входе в дизель с 50 до 80 °С при неизменной температуре воды на выходе из дизеля $t_{\text{в}}^{\text{вых}} = 75^{\circ}\text{C}$ удельный расход топлива g_e уменьшается на 4 г/кВт·час.

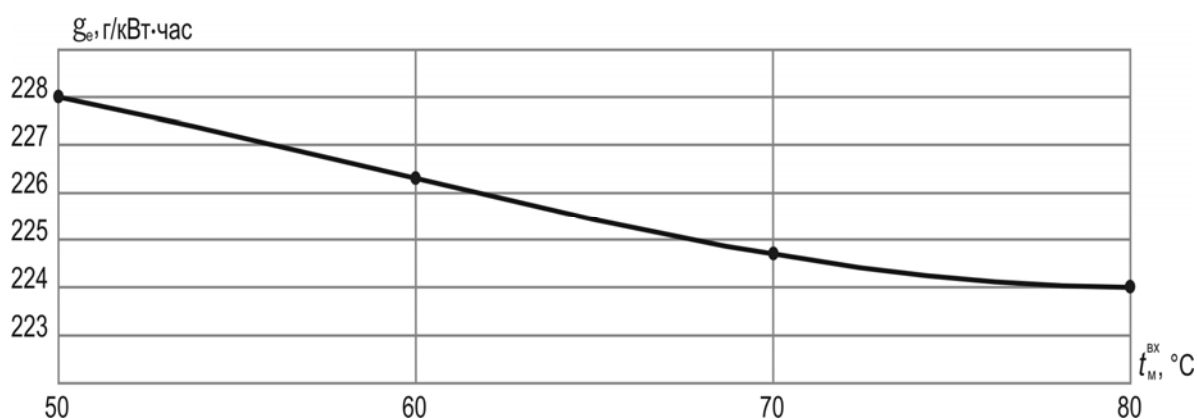


Рис. 7.12. Зависимость удельного расхода топлива от температуры масла на входе в дизель

Увеличение температуры воды на выходе с 65 до 85 °С при постоянной температуре масла на входе 70 °С снизил удельный расход топлива g_e на 2 г/кВт·час. Дальнейшее повышение температур ограничивается конструктивными особенностями дизеля.

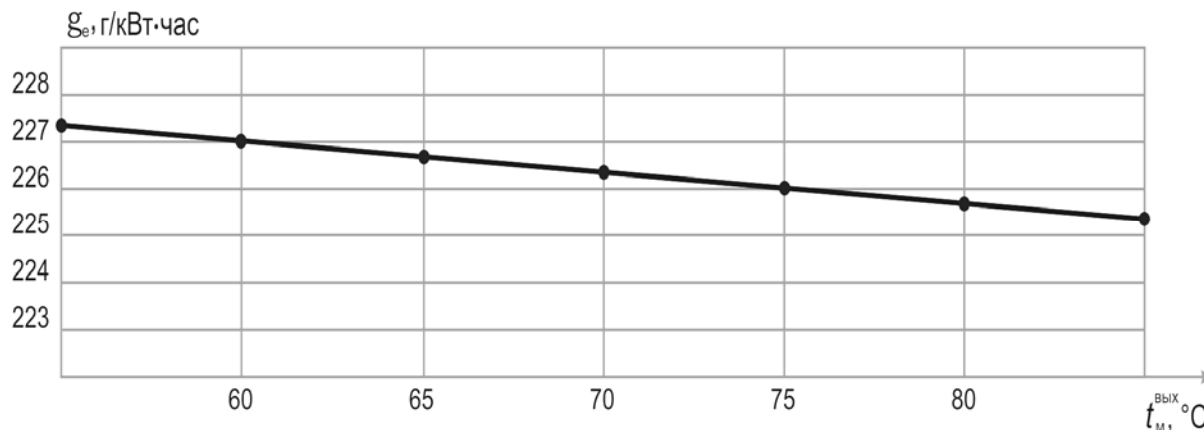


Рис. 7.14. Зависимость удельного расхода топлива от температуры охлаждающей воды на выходе из дизеля.

7.1.7. Испытания дизелей ЧН 25/34 на тяжелом топливе. Применение тяжелых топлив для двигателей внутреннего сгорания представляет большой экономический интерес в связи с их более низкой стоимостью. Однако перевод дизелей с дизельного на тяжелое топливо сопряжен с рядом технических проблем. Это как конструктивные изменения дизеля для обеспечения впрыска значительно более вязкого топлива, так и мероприятия, связанные с повышением износостойкости деталей цилиндропоршневой группы, и, в первую очередь, втулки цилиндра. Повышенные износы втулок при работе дизеля на тяжелом топливе связаны с повышенным содержанием серы и других примесей. При сгорании топлива образуются сернистые соединения, приводящие в конечном результате к образованию серной кислоты и ее взаимодействию со стенками цилиндра и повышению износов втулки цилиндра. Для решения этих вопросов необходимо исследовать характер и величины износов и нагарообразования при работе дизеля на тяжелом топливе и сравнить их с данными, полученными при работе дизеля на дизельном топливе.

Испытывались дизели 6ЧН 25/34 с цилиндровой мощностью $Ne_{ц} = 74$ кВт и 8ЧН 25/34 с цилиндровой мощностью $Ne_{ц} = 67$ кВт.

Определение износов и нагарообразования, а также изменение свойств смазочного масла выполнено в соответствии с ОСТ 24.060.09-79.

Износ деталей определялся следующими методами:

- микрометражом (втулки цилиндров, поршневые кольца, поршни, втулки и стержни клапанов);
- методом искусственных баз (втулки цилиндров);
- взвешиванием (кольца).

Испытания проводились 50-часовыми циклами:

- холостой ход – 1 %;
- 50 % номинальной нагрузки – 7 %;
- 75 % номинальной нагрузки – 38 %;
- 100 % номинальной нагрузки – 48 %;
- 110 % номинальной нагрузки – 6 %.

Данные испытаний представлены в табл. 7.3.

Как видно из таблицы при переходе дизеля 6ЧН 25/34 на тяжелое топливо износы втулок цилиндров выросли в 1,9 раза, резко увеличились нагароотложения на поверхностях деталей. В то же время вследствие нагароотложения снизились износы поршня и колец (этап б). Применение более качественных масел по сравнению с маслом M10B₂ не решает проблему износа основной детали – втулки цилиндра. Для дизеля 8ЧН 25/34 износы втулок на тяжелом топливе в 2-4 раза выше, чем на дизельном. В связи с этим особенно актуальны работы по повышению износостойкости втулок цилиндров.

Ресурсные испытания втулок цилиндров из комплексно-легированного чугуна, отлитых центробежным способом с управлением процессами структурообразования на двигателе 8ЧН 25/34 при работе в течение 2715 часов на тяжелом топливе, показали долговечность на уровне работы дизеля с серийными втулками на легком дизельном топливе.

Таблица 7.3

Основные результаты испытаний различных сортов масла при работе двигателя ЧН 25/34 на дизельном и тяжёлом топливе

Наименование	Единица измерения	Номер этапа							
		1	2	3	4	5	6	7	
Дизель	-	6ЧН 25/34							8ЧН 25/34
Топливо	-	Дизельное							Тяжелое
Масло	-	М10В ₂	М10Г	М10ГЦС	М10В ₂	SAE30	М10Г ₂ ЦС		
Продолжительность испытаний	час	505	651	523	520	520	826	1311	
Расход масла на угар	Г/кВт.ч.	1,6	1,36	2,05	2,0	2,0	1,8	1,7	
Износы: - максимальные втулки цилиндров в зоне ВМТ	мм	0,028	0,096	0,059	0,055	0,023	0,038	0,094	
	мм/1000 ч.	0,056	0,145	0,110	0,106	0,044	0,046	0,072	
	%	100	260	196	190	79	82	128	
- максимальные поршня по диаметру юбки	мм	0,015	0,002	0,002	0,01	0,005	0,005	0,014	
	мм/1000 ч.	0,029	0,004	0,004	0,02	0,01	0,007	0,011	
	%	100	14	14	69	35	24	38	
- верхнего кольца по массе	г	1,0	0,57	0,56	0,33	0,06	0,7	0,58	
	г/1000 ч.	1,97	0,88	1,07	0,63	0,12	0,85	0,44	
	%	100	45	51	32	6	43	22	
- по увеличению зазора в замке	мм	0,6	0,57	0,56	0,33	0,06	0,7	0,58	
	мм/1000 ч.	1,18	0,88	1,06	0,63	0,12	0,85	0,44	
	%	100	74	90	53	10	72	37	

Продолжение таблицы 7.3.

Наименование	Единица измерения	Номер этапа						
		1	2	3	4	5	6	7
		6ЧН 25/34						
Топливо	Дизельное	Тяжёлое						
Масло	М10В ₂	М10Г	М10ГЦС	М10В ₂	SAE30	М10Г ₂ ЦС		
-	-	0,015	0,023	0,013	0,05	0,011	0,016	0,013
-максимальные стержней впускных клапанов по диаметру	мм	0,03	0,035	0,025	0,10	0,022	0,019	0,01
	%	100	117	83	333	73	63	33
-максимальные направляющих впускных клапанов	мм	0,035	0,07	0,058	0,108	0,058	0,13	0,032
	мм/1000 ч.	0,071	0,107	0,111	0,208	0,111	0,157	0,039
	%	100	150	157	293	157	222	55
Нагарообразование на:								
- днище поршня	бал	0,08	0,32	0,077	0,097	0,245	0,169	0,191
	бал/1000 ч.	0,016	0,492	0,148	0,185	0,471	0,202	0,146
	%	100	307	89	116	294	128	91
- канавки компрессионных колец	бал	0,87	1,87	2,27	2,22	2,3	1,9	0,247
	бал/1000ч.	1,72	2,87	4,34	4,26	4,42	2,3	0,188
	%	100	166	252	247	257	134	13

Это достигнуто за счет более высокой коррозионной стойкости легированного чугуна и повышенной износостойкости мелкодисперсной структуры в верхней зоне втулки.

7.1.8. Стендовые испытания дизеля 8ЧН 25/34 с втулками с переменной износостойкостью. Абсолютную достоверность преимуществ втулок цилиндров с заданной износостойкостью рабочей поверхности можно выявить только путем проведения натуральных стендовых испытаний дизеля с упрочненными втулками.

Дизель 8ЧН 25/34 был установлен на экспериментальном стенде в испытательном цехе завода “Первомайскдизельмаш” (рис. 7.15).

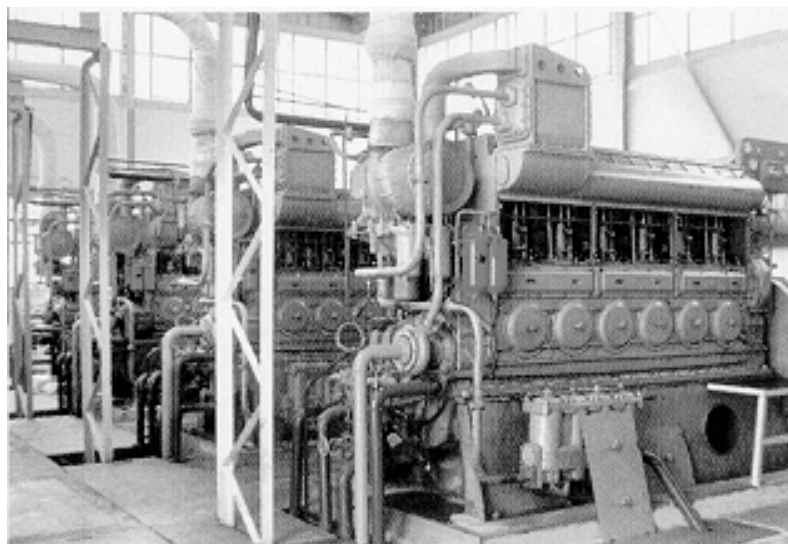


Рис. 7.15. Дизели ЧН 25/34 в испытательном цехе завода

Испытания проводились по специально разработанной программе. Двигатель укомплектован попеременно опытными и серийными втулками. Испытания согласованы и разрешены Регистром Судоходства Украины.

Опытные цилиндрические втулки №№ 1, 3 и 8, отработавшие на дизеле 8ЧН 25/34 в период всех видов испытаний на топливе ДТ 3000 часов, замене не подлежат. Цилиндрические втулки №№ 2, 4, 5, 6, 7 заменяются новыми, отлитыми центробежным способом, и испытываются еще 2000 часов.

Как видно из приведенных материалов, опытные втулки № 1, 3 и 8 имеют износостойкость в среднем в 2 раза выше, чем серийные. Поршневые кольца, работающие в паре с опытными втулками, имеют износы ниже, чем работающие в паре с серийными втулками. Также значительно сгладился пик износа в верхней зоне втулки.

Данные до износу деталей ЦПГ дизеля после 5000 часов работы приведены на рис. 7.16.

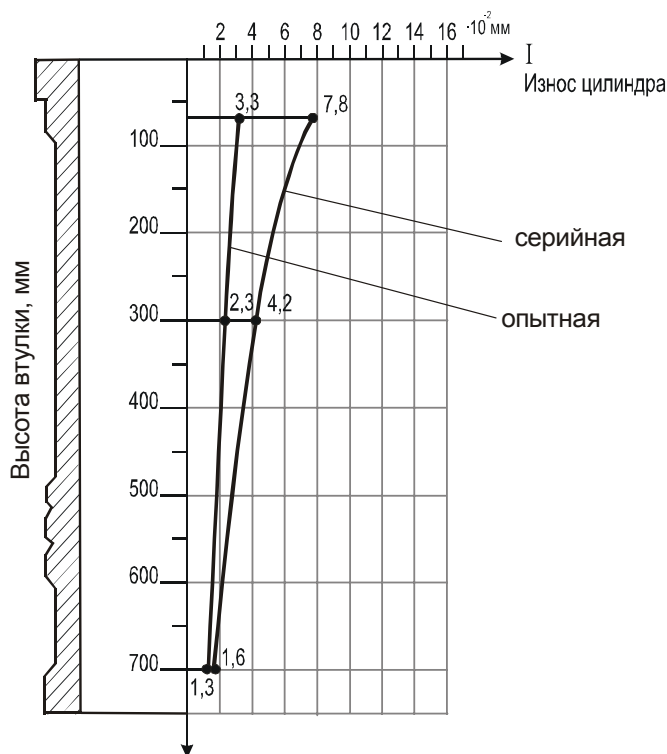


Рис. 7.16. Эюры износа втулок с переменной износостойкостью и серийных

Сдаточные и доводочные испытания нового судового форсированного дизеля 6ЧН 26/34 показали, что надежно работать может только двигатель, укомплектованный втулками цилиндров, отлитыми центробежным способом из комплексно-легированного чугуна с управлением процессами структурообразования. Попытки оснастить дизель втулками, отлитыми по

серийной технологии в песчано-глинистые формы, успеха не имели, особенно при работе на тяжелом топливе.