

## К вопросу повышения надежности крышки цилиндра тепловозного дизеля

И. В. СИРОТЕНКО, Е. Е. КОССОВ

Акционерное общество «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (АО «ВНИИЖТ»),  
Москва, 129626, Россия

**Аннотация.** Рассмотрены по материалам публикаций вопросы обеспечения безотказности и долговечности работы днища крышки цилиндра распространенных среднеоборотных тепловозных дизелей, в частности ее огневого днища. Этот наиболее нагреваемый и нагруженный узел работает в среде газов с температурой до 2000 К и определяет безотказность всей крышки в целом. Проанализированы конструкции крышек среднеоборотных дизелей тепловозного класса, рассмотрены физические процессы, приводящие к потере их работоспособности. Наибольший вклад в процессы разрушения днища крышки вносит ее теплонпряженное состояние, которое может изменяться из-за неравномерности распределения нагрузки цилиндров дизеля на установившихся режимах его работы и увеличения тепловой нагрузки при реализации переходного процесса. Проанализированы результаты современных исследований, посвященных вопросам повышения безотказности крышек за счет применения более термостойких материалов, улучшения теплоотвода от наиболее нагретых областей. Обсуждены принципиальные конструктивные решения для крышки цилиндра нового тепловозного дизеля.

**Ключевые слова:** тепловозный дизель; крышка цилиндра; днище; термоусталостная прочность; повреждения; безотказность

**Введение.** Главным препятствием на пути создания более мощной модификации транспортного двигателя обычно являлась низкая надежность работы его основных узлов. Это в полной мере относится к крышке цилиндра — одной из наиболее сложных в конструктивном плане и нагруженных в тепловом отношении деталей цилиндропоршневой группы. Крышка цилиндра принадлежит к числу повреждаемых узлов, определяющих сроки производства плановых ремонтов всего двигателя и, в конечном счете, уровень расходов на поддержание его работоспособности. В исследованиях наибольшее внимание уделяется огневой плите, или днищу крышки, как одной из самых ответственных и технологически сложных деталей и как главному элементу, определяющему безотказность всей конструкции.

**Состояние вопроса.** В среднем, как свидетельствует статистика, отказы узлов цилиндропоршневой группы составляют 28–32 % от всех отказов по дизелю 5Д49 (ЧН26/26), большая часть из них приходится на крышку цилиндра. Трещины днища (рис. 1) за-

нимают примерно 20–22 % от числа отказов по цилиндропоршневой группе, что составляет в среднем 4–5 повреждений на млн км пробега. По тяжести последствий трещина днища превосходит другие повреждения, так как требует полной разборки крышки и замены моторного масла из-за обводнения. Продолжительность непланового ремонта оценивается примерно в 200 нормо-ч. Трещины днища являются скрытыми повреждениями, выявление которых возможно только при демонтаже крышки. Анализ статистических данных [1, 2] показывает, что средняя наработка на отказ крышки составляет от 280 до 380 тыс. км, средний срок службы с учетом ремонтов — примерно 800 тыс. км, при этом на каждом плановом ремонте ТР-3 требуют замены или восстановления 25–30 % крышек, на заводском — до 60 %.

Эти показатели мало изменились с 1990-х гг. и имеют устойчивую тенденцию к ухудшению. Вопрос в том, какие меры следует предпринять, ориентируясь на современные достижения в области конструирования, новые технологии, чтобы проблема долговечности крышки была решена как для дизеля типа 5Д49 (ЧН26/26), так и на перспективу для дизелей следующих поколений [3, 4].

**Конструкции крышек цилиндров** разнообразны. На среднеоборотных дизелях — тепловозных, судовых (см. таблицу) получили распространение четырехклапанные крышки с плоским огневым днищем с водяным внутренним охлаждением (рис. 2). Для улучшения теплоотвода увеличивают поверхности охлаждения: устанавливают промежуточное днище, выполняют оребрение поверхности со стороны воды (710G3B). Движение потока охлаждающей воды внутри крышки организуют, например, от центра к периферийной части. Применяемые для изготовления крышки материалы обладают теплопроводностью и прочностью (как правило, это чугуны — серый СЧ или высокопрочный ВПЧ), что позволяет выполнить качественную объемную отливку крышки, исключив разъемы конструкции. Конструкции днища у большинства крышек — тонкостенные, они обеспечивают при сохранении прочности более интенсивный теплообмен с охлаждающей водой и умень-

■ E-mail: [sirotenko.igor@vniizht.ru](mailto:sirotenko.igor@vniizht.ru) (И. В. Сиротенко)

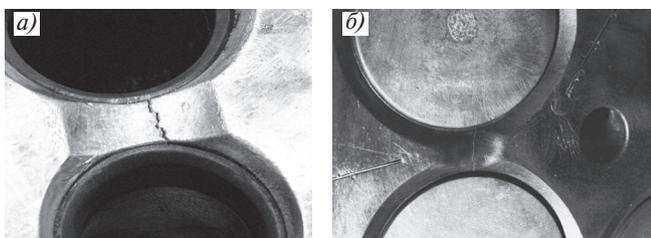


Рис. 1. Вид трещины в днище крышки:  
 а — в межклапанной перемычке крышки цилиндра автомобильного двигателя\*; б — в межклапанной перемычке крышки дизеля MAN23/23 [5]  
 \* Источники: <https://carnovato.ru/wp-content/uploads/2016/06/1551662052574f1f914cb5d7.54011674.jpg>  
 Fig. 1. View of crack in the cylinder head fire deck:  
 а — in the inter-valve bridge of the cylinder head of automobile engine\*; б — in the inter-valve bridge of head of the MAN23/23 diesel engine [5]  
 \* Source: <https://carnovato.ru/wp-content/uploads/2016/06/1551662052574f1f914cb5d7.54011674.jpg>

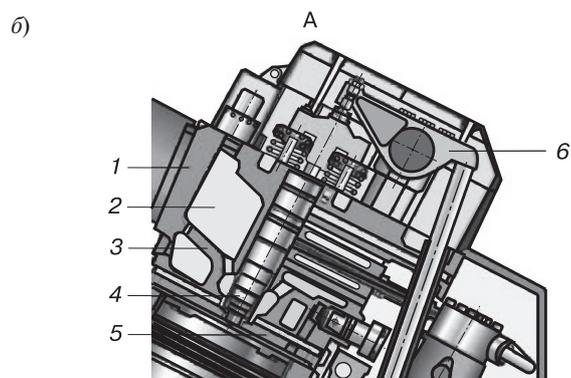
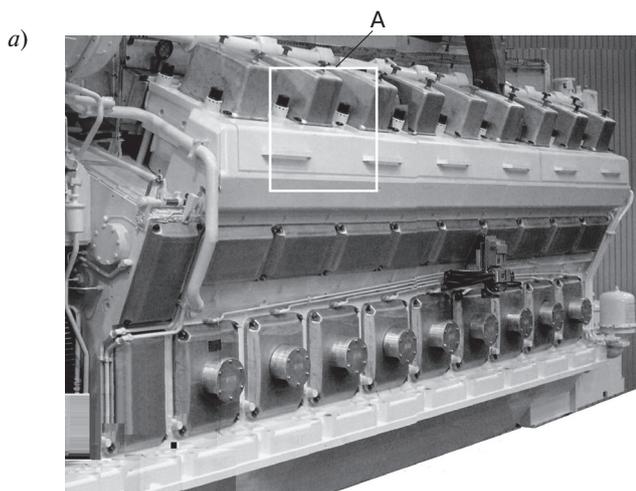


Рис. 2. Крышка цилиндра дизеля Wärtsilä-Vasa V32 (а), вид крышки в разрезе (б) [6]:  
 1 — корпус крышки; 2 — полость для циркуляции воды;  
 3 — промежуточное днище; 4 — форсунка; 5 — днище;  
 6 — привод клапанов

Fig. 2. Cylinder head of the Wärtsilä-Vasa V32 diesel engine (а), sectional view of head (б) [6]:  
 1 — head body; 2 — cavity for water circulation; 3 — intermediate deck;  
 4 — nozzle; 5 — fire deck; 6 — valve drive

шение температурного перепада по толщине стенки. Сменяемые седла клапанов (5Д49, 7FDL) применяют для улучшения прилегания клапанов, повышения износостойкости и облегчения восстановления крышки при ремонте.

Днище крышки цилиндров в среднеоборотном двигателе работает в среде газов с высокой температурой (до 2000 К), при высоких механических нагрузках (до 1 МН) и температурных напряжениях. Механизм истощения ее ресурса типичен для большинства двигателей — как отечественных, так и иностранных. Элементы крышки испытывают накопление термоусталостных повреждений с последующим [7, 8] образованием трещин. Для таких трещин при раскрытии характерны: ступенчатость (рис. 1), наличие микронадрывов, изменения формы детали (коробление). Чаще всего повреждениям подвергаются конструктивные элементы, температура которых выше общего уровня и у которых, следовательно, возникают высокие термические напряжения. К таким элементам относятся межклапанные перемычки. Конструкторы стремятся максимально выровнять нагрев рабочей поверхности крышки, сделать массы ее элементов по возможности равновеликими, придать ей симметрию, насколько это возможно раздвинуть клапанные отверстия, тем самым улучшить охлаждение вокруг них (рис. 3). Форсунка топливной системы дизеля, располагаемая в крышке, конструктивно размещается в центре днища вертикально или наклонно.

**Особенности конструкции крышки цилиндра дизеля 5Д49.** Конструкция крышки дизеля 5Д49 (ее огневого днища) отличается, как видно из сравнения с рассмотренными конструкциями, сильной асимметрией (рис. 4, 5). В результате образуются узкие перемычки между выпускными клапанами — главный потенциально опасный с точки зрения разрушения элемент. Наклонное расположение форсунки также не является необычным решением, есть примеры на дизеле типа ЧН16/17 (М520, звездообразный), ЧН23/23 (MTU-956), но такое расположение создает другой опасный элемент у выхода распылителя (рис. 4, поз. 3). Для днища крышки характерно неравномерное распределение степени нагрева поверхности (рис. 5) и, как результат, неравномерное распределение термических напряжений. В местах наибольшего нагрева происходит накопление остаточных термических напряжений, зарождение и раскрытие трещин.

**Особенности механизма разрушения.** Главную роль в процессе истощения ресурса крышки играют термические напряжения, появляющиеся вследствие неравномерности распределения температуры, скорости нагрева и охлаждения ее рабочей поверхности. Величины температурных (термических) и механических

Основные технические характеристики дизелей и конструктивные особенности их крышек цилиндра  
Main technical characteristics of diesel engines and design features of its cylinder heads

Наименование показателя	Дизельные двигатели							
	16V956-TB82	21-26ДГ-01	12Д300	12Д500	7FDL-12EF1	710G3B-EC	16PA6V-280STC	Wärtsilä -Vasa 16V32
Мощность номинальная, л.с. (кВт)	4570 (3360)	3400 (2500)	3600 (2650)	6000 (4412)	3114 (2290)	4000 (2940)	7050 (5184)	8160 (6000)
Частота вращения коленчатого вала номинальная, мин <sup>-1</sup>	1500	1000	1000	1000	1050	904	1050	750
Число цилиндров	16	12	12	12	12	16	16	16
Расположение цилиндров	V-образное	V-образное	V-образное	V-образное	V-образное	V-образное	V-образное	V-образное
Среднее эффективное давление, МПа	1,758	1,812	1,783	2,580	1,992	2,094	2,074	2,128
Диаметр цилиндра/ход поршня, мм	230/230	260/260	260/280	265/310	229/267	229/279	280/290	320/350
Рабочий объем цилиндра, дм <sup>3</sup>	9,56	13,80	14,86	17,10	10,95	11,64	17,86	28,20
Материал крышки цилиндра	СЧ легированный	ВПЧ легированный Ni, Mn	ВПЧ легированный Ni, Mn	ВПЧ	Сталь легированная	ВПЧ	ВПЧ	СЧ
Расположение форсунки	Наклонное	Наклонное	Наклонное	Вертикальное	Вертикальное	Вертикальное	Вертикальное	Вертикальное
Особенности конструкции	Промежуточное днище	Промежуточное днище, «плавающие» седла клапанов	Промежуточное днище	Промежуточное днище. Сверленные каналы для воды в нагретых участках днища	Неразъемное соединение с втулкой цилиндра, сменяемые упрочненные седла клапанов	Оребрение поверхности днища со стороны водяного охлаждения	Промежуточное днище	Промежуточное днище. Сверленные каналы для воды в нагретых участках днища
Род службы	Тепловозный*	Тепловозный*	Тепловозный*	Резервный источник мощности для АЭС, судовой вспомогательный, тепловозный	Тепловозный*	Тепловозный*	Судовой, стационарный	Судовой, стационарный
Разработчик, изготовитель	MTU-Friedrichshafen (ФРГ)	Коломенский завод, ОАО ХК	Коломенский завод, ОАО ХК	Коломенский завод, ОАО ХК	GE Transportation (США)	Electro-Motive Diesel, Inc. (США)	SEMT-Pielstick, MAN-Diesel & Turbo (Франция-ФРГ)	Wärtsilä Oyj Abp (Финляндия)

\* Имеются судовые и стационарные модификации.

напряжений имеют различные периоды и пределы изменений, их характер определяется сменой режимов работы двигателя, для тепловозного дизеля это смена позиций контроллера машиниста. Анализ статистических данных позволяет говорить о теплосменах, т. е. периодических нагревах и охлаждениях.

В зависимости от нагрева и степени стеснения деформации элемента крышки, т. е. от отсутствия его свободного расширения, при теплосменах происходит процесс усталостного разрушения, который характеризуется как накоплением повреждений в материале, так и наличием в элементе пластических деформаций.

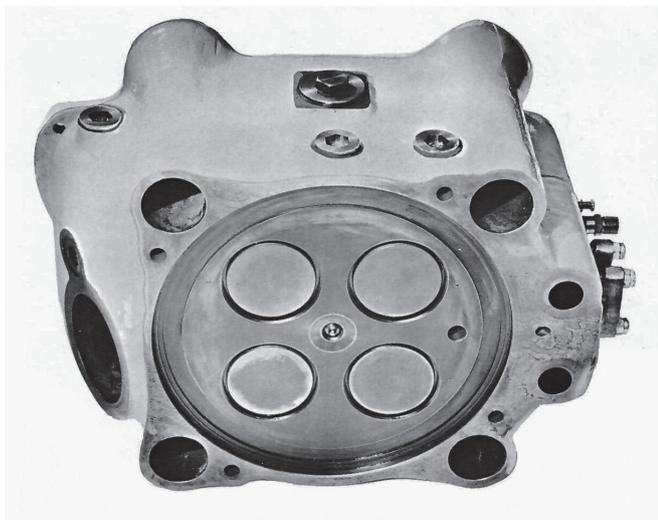


Рис. 3. Вид дна крышки с клапанами, дизель PA6V280 [9]  
Fig. 3. View of the cylinder head fire deck with valves, diesel engine PA6V280 [9]

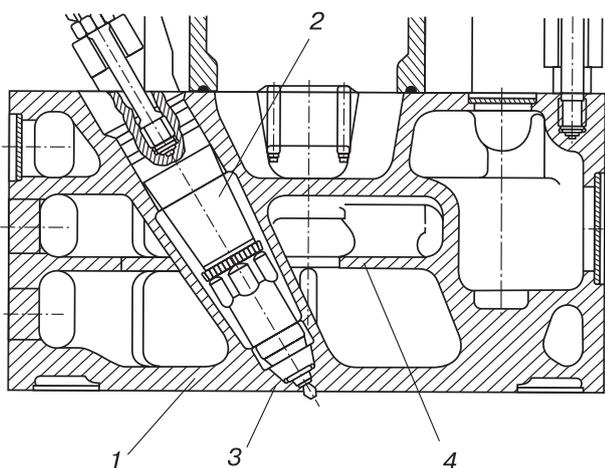


Рис. 4. Вид крышки дизеля 5D49 (разрез по форсунке):  
1 — днище; 2 — форсунка; 3 — повреждаемая область у выхода  
распылителя форсунки; 4 — промежуточное днище

Источник: ресурсы мировой Сети

Fig. 4. View of the 5D49 diesel engine head  
(section through the nozzle):

1 — fire deck; 2 — nozzle; 3 — damaged area at the exit of the atomizer  
nozzle; 4 — intermediate deck

Source: WWW resources

С увеличением числа циклов теплосмен внутренние напряжения растяжения в детали возрастают, увеличивается размах напряжений, уменьшается доля пластической деформации, характеристики цикла нагружения приближаются к симметричному с одновременным снижением доли пластической деформации и постепенным переходом к упругой работе. Это означает, что после первых циклов нагрева-охлаждения (рис. 6, кривая 1) наблюдается уменьшение (снижение) темпа нарастания остаточной напряженности

(кривая 2) и стабилизация достигнутого напряженно-деформируемого состояния с переходом в область термоупругой работы с так называемым эффектом приспособляемости ( $N, N+1, N+2\dots$ ). При таком характере нагружения работа крышки может быть достаточно долговечной.

При последующих пластических деформациях происходит активное накопление повреждений в структуре металла и истощение прочностных свойств.

Было установлено, что в наиболее нагреваемых элементах, например в перемычках между клапанами, температурные напряжения сжатия-растяжения в 1,2–1,5 раза превышают по амплитуде предел выносливости материала [7] с ожидаемыми последствиями — образованием микротрещин и повреждений.

В [7, 8, 10] показано, что термоупругая работа с учетом эффекта приспособляемости для элементов крышек цилиндра сохраняется, когда максимальное значение температуры теплового цикла не превышает 300–360 °С (573–633 К), а при более высокой температуре начинается накапливание остаточных деформаций. При этом верхняя граница приобретенной в условиях приспособляемости внутренней напряженности, при которой может достигаться высокая долговечность, составляет 200 МПа.

Данные о температурах в сечениях крышки, полученные при испытаниях на двигателе [11, 12] и в расчетах термических напряжений в огневой плите для той же конструкции крышки, выполненных методом конечных элементов (МКЭ) [13], хорошо коррелируются и дополняют друг друга (рис. 7). В дизелях типа Д49 при работе на установившихся режимах температура в наиболее нагреваемом элементе крышки цилиндра — перемычке между выпускными клапанами (кривая 1) не достигает опасных значений 360 °С (633 К). Иными словами, в стационарных условиях нагружения крышка должна обеспечивать безотказную и долговечную работу. По-видимому, образование повреждений практически полностью следует отнести на долю некоторых процессов, сопровождающихся повышением температуры.

Исследования [14, 15] показали, что при отсутствии ограничений подачи топлива в переходном процессе температура выпускных газов дизеля, а значит, и температура крышек цилиндров может повышаться на 150–200 К. Такие превышения температуры, наряду с неравномерностью загрузки цилиндров, могут приводить к повреждению деталей цилиндропоршневой группы. С целью повышения надежности работы дизелей и снижения выбросов вредных веществ были разработаны системы регулирования дизелей, которые снижают подачу топлива и нагрузку в переходных режимах. Современные

электронные системы регулирования уменьшают тепловые перегрузки дизеля в переходных процессах, но не могут их исключить из-за требований быстроты действия. Поэтому даже при реализации оптимального [14] переходного процесса повышение температуры может составлять 100–120 К. Если учесть допустимую регламентом неравномерность загрузки по цилиндрам, то и при оптимальном управлении переходным процессом возможно появление неисправностей, связанных с тепловыми нагрузками. Это особенно касается двигателей с высоким средним эффективным давлением. Поэтому при внедрении тепловозов с форсированными дизелями обязательно не только оборудовать их электронными системами регулирования, но и ужесточать требования по допускам на неравномерность подачи топлива.

Одним из логичных путей дальнейшего совершенствования конструкции крышек цилиндров является создание запасов по долговечности в нагруженных повреждаемых элементах днища, а также применение более эффективных систем охлаждения [7]. Однако конструкция крышки тесно связана с сопряженными узлами, деталями, и поэтому внести в нее необходимые конструктивные изменения — весьма сложная задача. Это обстоятельство дало основание для широкого конструкторского и научного поиска иных, неочевидных решений проблемы.

Среди мероприятий, внедренных заводом-изготовителем при доводке крышки, следует выделить изменения ее конструкции: применение сменных «плавающих» седел для клапанов и уменьшение толщины днища с 23 до 15 мм на большей части поверхности, в том числе и у межклапанных перемычек (рис. 8, поз. 1, 2). Это позволило снизить температурный перепад по толщине днища, уменьшить величину изгибающих напряжений, что дало почти двухкратное снижение повреждаемости и количества неплановых ремонтов [16].

Другое направление поиска, актуальное и в настоящее время, — выбор для изготовления крышки материала, обладающего более высокими показателями термической стойкости, например с показателем термической выносливости в 1,5–2 раза выше, чем у применяемого сейчас материала (высокопрочного чугуна).

Сложность формы крышки предопределяет способ ее изготовления — как правило, это моноблочное литье из серых и высокопрочных чугунов. Перспективным материалом для крышек дизелей считается чугун с вермикулярным графитом (Compacted Graphite Iron — CGI); эта структура характеризуется графитом в форме, промежуточной между формой пластинки, как у серого чугуна, и сферической формой, как у высокопрочного чугуна. В крышках автомобильных

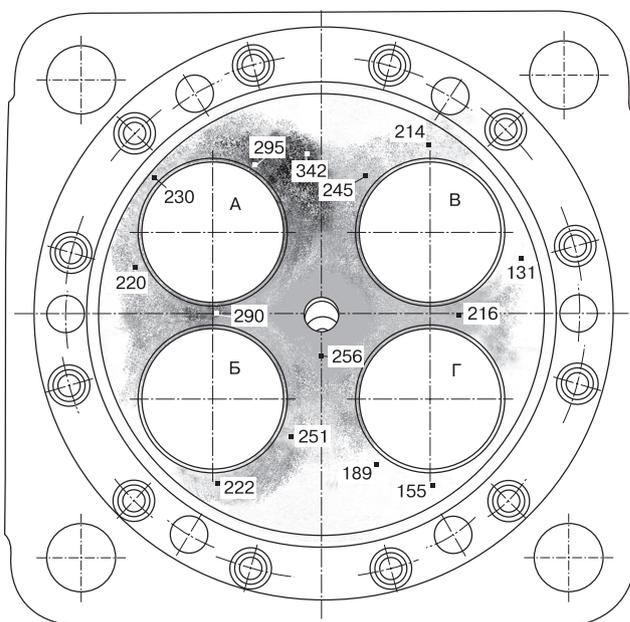


Рис. 5. Распределение температуры в днище крышки цилиндра дизеля ЧН26/26 при  $p_{me} = 1,6$  МПа,  $n = 700$  об/мин [11]: А, Б — выпускные клапаны; В, Г — впускные клапаны  
Fig. 5. Temperature distribution in the cylinder head fire deck, diesel engine ChN26/26 at  $p_{me} = 1,6$  МПа,  $n = 700$  r/min [11]: А, Б — outlet valves; В, Г — inlet valves

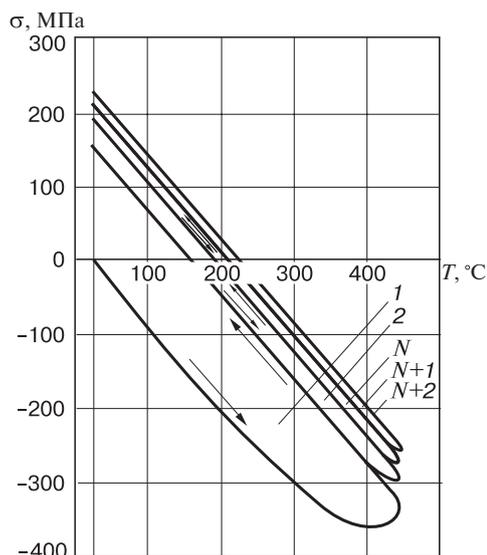


Рис. 6. Диаграмма циклического деформирования материала крышки в первом и последующих циклах нагружения [7]: 1 — первый цикл нагрева-охлаждения; 2 — второй цикл нагрева-охлаждения; N — n-й цикл; N+1, N+2 — последующие циклы  
Fig. 6. Diagram of cyclic deformation of the material of head in the first and subsequent loading cycles [7]: 1 — first heating-cooling cycle; 2 — second heating-cooling cycle; N — n<sup>th</sup> cycle; N+1, N+2 — subsequent cycles

двигателей материал не показал каких-либо преимуществ по сравнению с серым чугуном при переменной циклической тепловой нагрузке от 50 до 370 °С

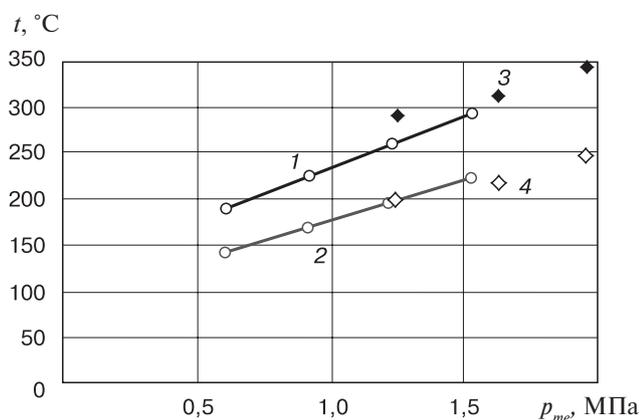


Рис. 7. Температура в межклапанных перемычках крышки дизеля ЧН26/26:

1 — выпускные клапаны; 2 — впускные клапаны, опытные данные [11]; 3 — выпускные клапаны, расчет МКЭ [13]; 4 — впускные клапаны, расчет МКЭ [13]

Fig. 7. Temperature in the inter-valve bridges of heads of ChN26/26 diesel engines:

1 — outlet valves; 2 — inlet valves, experimental data [11]; 3 — outlet valves, finite element analysis (FEA) [13]; 4 — inlet valves, calculation of the FEA [13]

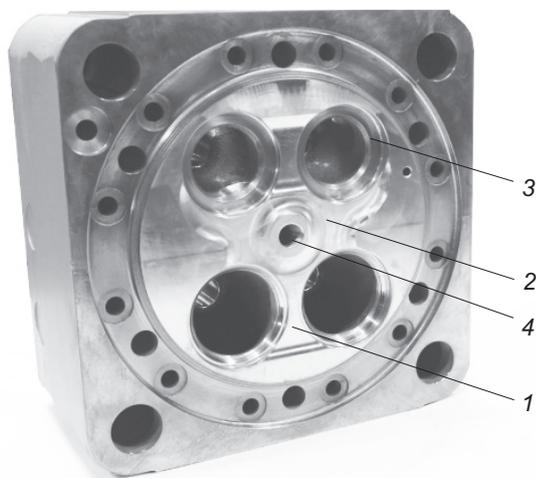


Рис. 8. Крышка цилиндра 5Д49.78.1спч без комплектующих деталей (5Д26.78.1спч), днище:

1, 2 — области с уменьшенной толщиной; 3 — место установки съемного седла клапана; 4 — отверстие для форсунки

Источник: [http://www.depo-magazine.ru/netcat\\_files/File/zavodck-1\(1\).jpg](http://www.depo-magazine.ru/netcat_files/File/zavodck-1(1).jpg)

Fig. 8. Cylinder head 5D49.78.1spch bare (5D26.78.1spch), fire deck:

1, 2 — areas with reduced thickness; 3 — place of installation of a removable valve seat; 4 — nozzle hole

Source: [http://www.depo-magazine.ru/netcat\\_files/File/zavodck-1\(1\).jpg](http://www.depo-magazine.ru/netcat_files/File/zavodck-1(1).jpg)

(323–643 K). В работах [17, 18] авторы исследовали деформационное поведение и интенсивность накопления остаточных напряжений. Подводя некоторый итог отметим, что большинство исследователей не дают однозначного ответа о преимуществах того

или иного сплава, а критерием правильности выбора материала считают проверку его работоспособности при стендовых испытаниях и в эксплуатации. Высокопрочный чугун, применяемый для отливки крышек цилиндров дизелей типа ЧН26/26, перлитного класса, легированный никелем, медью, имеет высокую устойчивость к образованию термических трещин, термическую стойкость [19].

Одним из результативных путей повышения надежности работы крышек является улучшение отвода тепла от высоконагретых участков. В исследовании [20] авторы предлагают повысить интенсивность теплоотвода от днища крышки за счет установки в водяной системе дополнительного насоса. Это позволит повысить интенсивность циркуляции воды в охлаждающей системе тепловоза. Привод дополнительного водяного насоса, в отличие от штатного, предлагается осуществить с помощью электродвигателя с питанием от вспомогательного генератора, производительность насоса регулировать в зависимости от частоты вращения коленчатого вала, нагрузки и ряда параметров работы силовой установки.

В работе [21] предложено использовать сжатый воздух для охлаждения днища. Расчетным путем — МКЭ в трехмерной постановке — исследована идея применения для крышки цилиндра дизеля Д80 (ЧН26/27) локального воздушного охлаждения днища через просверленные в нем каналы. Предложена транзитная циркуляция воздуха через огневое днище, минуя впускной и выпускной тракт дизеля. Самым эффективным способом снижения температур и напряжений признаны каналы диаметром 7 мм и прокачка воздухом давлением 3 МПа. Это даст возможность снизить максимальную температуру межклапанной перемычки между выпускными клапанами с 290 до 204 °С, уменьшить напряжения в поверхностном слое межклапанной перемычки с 691 до 533 МПа.

Для определения условий теплообмена со стороны поверхностей охлаждения в [22, 23] создан алгоритм с использованием численного моделирования гидродинамики движения жидкости по полостям крышки, дополненный моделью турбулентности. Высокие тепловые нагрузки могут привести к переходному режиму теплообмена, характеризующемуся наличием как конвективной составляющей, так и составляющей за счет кипения жидкости в полостях охлаждения. Новый алгоритм может позволить оценить более широкий спектр факторов, оказывающих влияние на работоспособность крышки, например такой фактор, как наличие «застойных зон» при циркуляции жидкости, где скорость ее перемещения снижается. В [24] жидкость рассмотрена как однофазный поток, в котором пузырьки пара, или пустотная фракция, и жидкость смешаны однородно. Тепловой поток во время теп-

лопередачи при кипении был рассмотрен как сумма конвективного теплового потока и теплового потока пустотной фракции. Предлагаемый в [24] метод прошел подтверждение адекватности путем сравнения результатов моделирования с опытными данными, полученными при стендовых испытаниях двигателя.

**Заключительное обсуждение.** Крышка цилиндра дизеля типа 5Д49 (ЧН26/26) была спроектирована на основе тех знаний, которые были в период его создания (начало 1960-х гг.), и имеющегося на то время уровня цилиндровой мощности. По мере повышения среднего эффективного давления и связанной с ним нагруженности цилиндров потребовалась доработка конструкции крышки. Необходимо было найти решение ряда вопросов, при этом сохранялись основные ее геометрические размеры и тип материала, из которого она была изготовлена. В ходе проведения этих работ была достигнута надежность, при которой уровень повреждаемости составил около 10 отк/млн км по крышке в целом и 2,4–4,4 отк/млн км по повреждениям днища. При этом норма сменяемости крышек по всем видам неисправностей — 1,2 на млн км, норматив по расходу запасных частей — до 3–7 на млн км. Можно считать допустимым, если у крышек, прошедших ремонт либо изготовленных на других предприятиях в качестве запчастей, повреждаемость будет в 2–2,5 раза выше.

**Выводы.** 1. Крышка цилиндра тепловозного дизеля 5Д49(ЧН26/26), ее днище, продолжает оставаться одним из узлов, ограничивающих надежность работы двигателя.

2. Контроль превышения тепловых нагрузок в эксплуатации за счет оптимизации переходных процессов и обеспечения равномерности загрузки цилиндров является одним из основных резервов повышения надежности работы крышек.

3. При разработке новых, более форсированных двигателей необходимо закладывать конструктивные решения, адаптированные к условиям высоких термических напряжений и переменных нагрузок.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Осяев А. Т., Никифоров В. А., Холомин Ю. И. Вопросы эксплуатационной надежности форсированного тепловоза 2ТЭ25К // Вестник ВНИИЖТ. 2013. № 6. С. 66–73.
- Насыров Р. А., Чичин А. В. Дизели типа Д49: пути снижения повреждаемости деталей // Локомотив. 2000. № 10. С. 26–31.
- Двигатели нового поколения // Журнал для партнеров ЗАО «Трансмашхолдинг». 2017. № 3. С. 20–23.
- Двигатель Д500: лучший в своем сегменте // Журнал для партнеров ЗАО «Трансмашхолдинг». 2016. № 3. С. 18–21.
- Zinner K. Einfluß der Zylindergröße auf die Wahl des Verbrennungsverfahrens // M.A.N. Dieselmotoren Nachrichten. 1973. No. 50. P. 26–42.
- Wärtsilä 32 Product Guide-a22-13 March 2018 [Электронный ресурс]. 2018. URL: <https://www.wartsila.com/docs/default-source/product-files/engines/ms-engine/product-guide-o-e-w32.pdf> (дата обращения: 08.11.2019 г.).
- Салтыков М. А., Сальников М. А. Оценка сопротивления разрушению чугуна с шаровидной формой графита при температурных циклических нагрузках для прогноза ресурса деталей цилиндропоршневой группы двигателей транспортного назначения // Двигателестроение. 1983. № 6. С. 35–38.
- Раенко М. И., Рыжов В. А. Оценка прочностной надежности крышек цилиндров транспортных дизелей по критерию долговечности // Двигателестроение. 2012. № 1 (247). С. 7–17.
- SEMT Pielstick diesel engines. Chantiers de l'Atlantique. St. Denis, 1977. 32 p.
- Раенко М. И., Рыжов В. А., Мягков С. П. Определение спектра эксплуатационных нагрузок для крышек цилиндров среднеоборотных транспортных дизелей // Двигателестроение. 2010. № 1 (239). С. 9–12.
- Сазонов Ю. И. Исследование теплового состояния крышки цилиндра дизелей и теплообмена между ее днищем и газом: дис. ... канд. техн. наук: 05.04.02. М.: Моск. высш. техн. училище им. Н. Э. Баумана, 1977. 189 с.
- Конструирование двигателей внутреннего сгорания / Н. Д. Чайнов [и др.]; под ред. Н. Д. Чайнова. М.: Машиностроение, 2008. 496 с.
- Сальников М. А. Оценка долговечности крышек цилиндров тепловозных дизелей в зависимости от уровня теплонапряженности: дис. ... канд. техн. наук: 05.04.02, 01.02.06. Коломна, 1984. 214 с.
- Коссов Е. Е., Сухопаров С. И. Оптимизация режимов работы тепловозных дизель-генераторов. М.: Интекст, 1999. 184 с.
- Бабел М. Теоретические основы и методология выбора объемов и технологий модернизации тепловозов по критерию стоимости жизненного цикла: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.07. М.: АО «ВНИИЖТ», 2014. 48 с.
- Никитин Е. А., Матусевич С. А., Богданов Б. И. Исследование теплового и напряженного состояния крышки цилиндра дизеля ЧН26/26 // Вопросы повышения надежности деталей: сб. тр. ЦНИДИ. Л.: Центр. науч.-исслед. дизельный ин-т, 1979. Вып. 76. С. 42–47.
- Highly loaded cylinder heads. Trends and Potentials / H. Sorger [et al.] // MTZ (Motortechnische Zeitschrift). 2008. Vol. 69. No. 2. P. 4–10.
- Advanced thermal mechanical fatigue life simulation of cylinder heads / F. Zieher [et al.] // ABAQUS. Proc. of Conf., 25–27 May 2004. Boston, 2004. P. 789–805.
- Мягков С. П. Повышение прочностной надежности крышек цилиндров транспортных дизелей: дис. .... канд. техн. наук: 05.04.02, 01.02.06. М.: Моск. высш. техн. училище им. Н. Э. Баумана, 2009. 177 с.
- Рябко К. А., Рябко Е. В. Повышение долговечности крышек цилиндров тепловозных дизелей // Известия Транссиба. 2016. № 4 (28). С. 30–37.
- Тринёв А. В., Авраменко А. Н. Влияние воздушного охлаждения огневого днища на теплонапряженное состояние крышки цилиндра тепловозного дизеля // Автомобильный транспорт. 2007. № 20. С. 88–91.
- Исследование напряженно-деформированного состояния крышки цилиндра высокофорсированного дизеля / Л. Л. Мягков [и др.] // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2015. № 2 (659). С. 42–51.
- Чайнов Н. Д., Мягков Л. Л., Маластовский Н. С. Численное моделирование движения жидкости в полости охлаждения крышки цилиндра среднеоборотного дизеля // Грузовик. 2015. № 5. С. 4–8.

24. Xincal Li, Chen Z. A single-phase flow model based on void fraction for boiling heat transfer calculation in cylinder head. *Ship & Offshore Special*. The Intern. publication of Shiff & Hafen. 2010. No. 3. P. 87.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**СИРОТЕНКО Игорь Васильевич**,  
канд. техн. наук, АО «ВНИИЖТ»

**КОССОВ Евгений Евгеньевич**,

д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник,  
отделение «Тяговый подвижной состав»,  
АО «ВНИИЖТ»

Статья поступила в редакцию 05.08.2019 г., актуализирована  
10.11.2019 г., принята к публикации 24.11.2019 г.

**Для цитирования:** Сиротенко И.В., Коссов Е.Е. К вопросу повышения надежности крышки цилиндра тепловозного дизеля // Вестник ВНИИЖТ. 2020. Т. 79. № 1. С. 39–47. DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2020-79-1-39-47>.

## On the issue of improving the reliability of the cylinder head of the diesel engine

I. V. SIROTENKO, E. E. KOSSOV

Joint Stock Company “Railway Research Institute” (JSC “VNIIZhT”), Moscow, 129626, Russia

**Abstract.** Cylinder head in a modern diesel engine is one of the most complex structurally loaded parts of its cylinder-piston group. The cylinder head is one of the most damaged units that determine the terms of scheduled repairs of the entire engine and, ultimately, the level of costs to maintain its performance. Article gives a review of studies on the cylinder head refinement of a diesel engine 5D49 (ChN26/26), and especially its main part which is the fire deck of the combustion chamber. Design disadvantage of the fire deck is the close location of the holes of the exhaust and intake valves, the inclined location of the nozzle. Depending on the heating and on the degree of constraint of the deformation of the head element, i. e. the absence of its free expansion, during heat exchange the process of destruction of the fire deck elements proceeds, which is characterized by the accumulation of fatigue damage in the material and plastic deformations. Studies have shown that under stationary loading conditions with the same scale of alternation of heating and cooling, the head should provide failure-free and durable operation. The occurrence of cracks due to the accumulation of residual stress should be attributed to the share of random “bursts” of temperature and temperature stresses arising during transient processes. These processes occupy approximately 20% of the total engine operating time. One of the main reserves for improving the reliability of heads is to prevent exceeding thermal loads in operation by optimizing transient processes and increasing the uniformity of cylinder loading. The cylinder head of the 5D49 (ChN26/26) diesel engine type, apparently, has outlived the possibilities for a significant increase in reliability and service life and bringing it into line with operational requirements. For use on new engines, a new head must be developed — symmetrical with a central vertical arrangement of the nozzle, and with a well-thought-out cooling circuit.

**Keywords:** diesel engine; cylinder head; fire deck; thermal stability; damage; reliability

**DOI:** <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2020-79-1-39-47>

## REFERENCES

1. Osaev A. T., Nikiforov V. A., Kholomin Yu. I. *Voprosy ekspluatatsionnoy nadezhnosti forsirovannogo teplovoza 2TE25K* [Issues of operational reliability of the forced locomotive 2TE25K]. *Vestnik VNIIZhT* [Vestnik of the Railway Research Institute], 2013, no. 6, pp. 66–73.
2. Nasyrov R. A., Chichin A. V. *Dizeli tipa D49: puti snizheniya povrezhdaemosti detaley* [Diesels of type D49: ways to reduce damage to parts]. *Lokomotiv*, 2000, no. 10, pp. 26–31.
3. *Dvigateli novogo pokoleniya* [Engines of the new generation]. *Zhurnal dlya partnerov ZAO “Transmashholding”* [Journal for partners of the CJSC “Transmashholding”], 2017, no. 3, pp. 20–23.

4. *Dvigatel' D500: luchshiy v svoem segmente* [D500 engine: the best in its segment]. *Zhurnal dlya partnerov ZAO “Transmashholding”* [Journal for partners of the CJSC “Transmashholding”], 2016, no. 3, pp. 18–21.

5. Zinner K. *Einfluß der Zylindergröße auf die Wahl des Verbrennungsverfahrens* // M.A.N. (Diesel motoren Nachrichten), 1973, no. 50, pp. 26–42.

6. *Wärtsilä 32 Product Guide-a22-13 March 2018*. URL: <https://www.wartsila.com/docs/default-source/product-files/engines/ms-engine/product-guide-o-e-w32.pdf> (retrieved on 08.11.2019).

7. Saltykov M. A., Sal'nikov M. A. *Otsenka soprotivleniya razrusheniyu chuguna s sharovidnoy formoy grafita pri temperaturnykh tsiklicheskiy nagruzkakh dlya prognoza resursa detaley tsilindroporshnevoy gruppy dvigateley transportnogo naznacheniya* [Estimation of resistance to fracture of cast iron with spherical shape of graphite at temperature cyclic loads to predict the resource of parts of the cylinder-piston group of transport engines]. *Dvigatelsestroenie* [Engine construction], 1983, no. 6, pp. 35–38.

8. Raenko M. I., Ryzhov V. A. *Otsenka prochnostnoy nadezhnosti kryshek tsilindrov transportnykh dizeley po kriteriyu dolgovechnosti* [Assessment of the strength reliability of cylinder heads of transport diesel engines by the criterion of durability]. *Dvigatelsestroenie* [Engine construction], 2012, no. 1 (247), pp. 7–17.

9. *SEMT Pielstick diesel engines*. Chantiers de l'Atlantique. St. Denis, 1977, 32 p.

10. Raenko M. I., Ryzhov V. A., Myagkov S. P. *Opredele nie spektra ekspluatatsionnykh nagruzk dlya kryshek tsilindrov sredneoborotnykh transportnykh dizeley* [Definition range of operating loads for the cylinder heads of medium transport diesel engines]. *Dvigatelsestroenie* [Engine construction], 2010, no. 1 (239), pp. 9–12.

11. Sazonov Yu. I. *Issledovanie teplovogo sostoyaniya kryshki tsilindra dizeley i teploobmena mezhdru ee dnishchem i gazom*. Kand. tekhn. nauk diss. [Investigation of the thermal state of the cylinder head of diesel engines and heat transfer between its bottom and gas. Cand. tech. sci. diss.]. Moscow, Mosk. vyssh. tekhn. uchilishche im. N. E. Bauman [Moscow Higher Technical School n. a. N. E. Bauman] Publ., 1977, 189 p.

12. Chaynov N. D., Ivashchenko N. A., Krasnokutskiy A. N., Myagkov L. L. *Konstruirovaniye dvigateley vnutrennego sgoraniya* [Design of internal combustion engines]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2008, 496 p.

13. Sal'nikov M. A. *Otsenka dolgovechnosti kryshek tsilindrov teplovozykh dizeley v zavisimosti ot urovnya teplonapryazhenosti*. Kand. tekhn. nauk diss. [Estimation of the durability of cylinder heads of diesel engines depending on the level of heat stress. Cand. tech. sci. diss.]. Kolomna, 1984, 214 p.

14. Kossov E. E., Sukhoparov S. I. *Optimizatsiya rezhimov raboty teplovoznnykh dizel'-generatorov* [Optimization of operating modes of diesel generators]. Moscow, Intext Publ., 1999, 184 p.

15. Babel M. *Teoreticheskie osnovy i metodologiya vybora ob'emov i tekhnologii modernizatsii teplovozov po kriteriyu stoimosti zhiznennogo tsikla*. D-ra tekhn. nauk avtoref. diss. [Theoretical foundations and methodology for the selection of volumes and technologies for the modernization of diesel locomotives by the criterion of the cost of a life cycle. Dr. tech. sci. diss. synopsis]. Moscow, JSC "VNIIZhT" Publ., 2014, 48 p.

16. Nikitin E. A., Matusevich S. A., Bogdanov B. I. *Issledovanie teplovogo i napryazhennogo sostoyaniya kryshki tsilindrov dizelya ChN26/26* [Investigation of the thermal and stress state of the cylinder head of the diesel engine ChN26/26]. *Voprosy povysheniya nadezhnosti detaley*. Sb. tr. TsNIDI [Issues of improving reliability of parts. Proc. of TsNIDI works]. St. Petersburg, Tsentr. nauch.-issled. dizel'nyy in-t [Central Scientific and Research Institute] Publ., 1979, no. 76, pp. 42–47.

17. Sorger H., Zieher F., Sauerwein U., Schöffman W. *Highly loaded cylinder heads. Trends and Potentials*. MTZ (Motortekhnische Zeitschrift), 2008, Vol. 69, no. 2, pp. 4–10.

18. Zieher F., Langmayr F., Ennemoser A., Jelatancev A., Hager G., Wieser K. *Advanced thermal mechanical fatigue life simulation of cylinder heads*. ABAQUS. Proc. of Conf., May 25–27, 2004. Boston, 2004, pp. 789–805.

19. Myagkov S. P. *Povyshenie prochnostnoy nadezhnosti kryshek tsilindrov transportnykh dizeley*. Kand. tekhn. nauk diss. [Improving the strength reliability of cylinder heads of transport diesel engines. Cand. tech. sci. diss.]. Moscow, Mosk. vyssh. tekhn. uchilishche im. N. E. Bauman [Moscow Higher Technical School n. a. N. E. Bauman] Publ., 2009, 177 p.

20. Ryabko K. A., Ryabko E. V. *Povyshenie dolgovechnosti kryshek tsilindrov teplovoznnykh dizeley* [Increasing the durability of

cylinder heads of diesel engines]. *Izvestiya Transsiba* [Bulletin of the Trans-Siberian Railway], 2016, no. 4 (28), pp. 30–37.

21. Trinev A. V., Avramenko A. N. *Vliyaniye vozdušnogo okhlazhdeniya ogneвого dnishcha na teplonapryazhennoe sostoyaniye kryshki tsilindra teplovoznogo dizelya* [Effect of cooling air to the bottom of the combustion state of the cylinder head of the calorific locomotive diesel]. *Avtomobil'nyy transport* [Road transport], 2007, no. 20, pp. 88–91.

22. Myagkov L. L., Malastovskiy N. S., D'yakova L. N., Blinov A. S. *Issledovanie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya kryshki tsilindra vysokoforsirovannogo dizelya* [Study of the stress-strain state of the cylinder head of a highly accelerated diesel engine]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Mashinostroeniye* [Proc. of higher educational institutions. Engineering], 2015, no. 2 (659), pp. 42–51.

23. Chaynov N. D., Myagkov L. L., Malastovskiy N. S. *Chislennoe modelirovaniye dvizheniya zhidkosti v polosti okhlazhdeniya kryshki tsilindra sredneoborotnogo dizelya* [Numerical simulation of fluid motion in the cooling cavity of the cylinder head of a medium-speed diesel]. *Gruzovik*, 2015, no. 5, pp. 4–8.

24. Xincal Li, Chen Z. *A single-phase flow model based on void fraction for boiling heat transfer calculation in cylinder head*. *Ship & Offshore Special*. The Intern. publication of Shiff & Hafen. 2010, no. 3, p. 87.

## ABOUT THE AUTHORS

**Igor' V. SIROTENKO**,  
Cand. Sci. (Eng.), JSC "VNIIZhT"

**Evgeniy E. KOSSOV**,  
Dr. Sci. (Eng.), Professor, Chief Researcher,  
Department "Traction rolling stock", JSC "VNIIZhT"

Received 05.08.2019

Revised 10.11.2019

Accepted 24.11.2019

■ E-mail: [sirotenko.igor@vniizht.ru](mailto:sirotenko.igor@vniizht.ru) (I. V. Sirotenko)

**For citation:** Sirotenko I. V., Kossov E. E. On the issue of improving the reliability of the cylinder head of the diesel engine. *Vestnik of the Railway Research Institute*. 2020. 79 (1): 39–47 (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2020-79-1-39-47>.

# «Вестник ВНИИЖТ» ГДЕ ПОДПИСАТЬСЯ?

Подписку на научно-технический журнал «Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта» («Вестник ВНИИЖТ») можно оформить в любом почтовом отделении связи по Объединенному каталогу «Пресса России», том 1 или агентствах по распространению печатных изданий «Урал-Пресс», АРЗИ и др.

## Подписной индекс журнала — 70116.

Также можно оформить подписку (годовую и полугодовую) на договорных условиях в редакции. Адрес редакции журнала: 129626, Москва, 3-я Мытищинская ул., д. 10, тел.: +7 (499) 260-43-19, факс: +7 (499) 262-00-70, E-mail: [journal@vniizht.ru](mailto:journal@vniizht.ru).

Подписчики стран ближнего и дальнего зарубежья могут оформить подписку на журнал «Вестник ВНИИЖТ» в агентстве «Урал-Пресс» (Ural-Press, [export@ural-press.ru](mailto:export@ural-press.ru)).