УДК629.4.014.7

Н.А. Данияров,С.К. Малыбаев, Т.К. Балгабеков, А.З. Акашев, А.К. Келисбеков
Карагандинский государственный технический университет, Казахстан
Тел./Факс:+7(7212)56-70-03, 560005; E-mail: nadaniyarov@mail.ru

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

В статье рассмотрены вопросы развития локомотивной автономной тяги железнодорожного транспорта Республики Казахстан, пути снижения расходов на потребление дизельного топлива тепловозами. Как показали исследования, качественный прорыв в дизелестроении возможен за счет применения новых конструктивных решений.

Одним из перспективных вариантов, позволяющих повысить эффективность работы автономных локомотивов, является переход на менее дефицитное и дешевое альтернативное моторное топливо – применение природного газа. В работе предпринята попытка оценки базовой модели магистрального тепловоза 2ТЭ116 с газотепловозом 2ТЭ116Г и газотурбовозом ГТ1-001.

Ключевые слова: *локомотив, газотепловоз, газотурбовоз, оценка, уровень качества.*

Введение

Железнодорожный транспорт Казахстана является одним из крупнейших потребителей нефтяного топлива в Республике. На осуществление тяги поездов тепловозами расходуется более 0,6 млн. т дизельного топлива в год.

Снабжение тепловозов дизельным топливом становится большой проблемой в связи с постоянным дефицитом качественного топлива и ростом его стоимости. Например, общая потребность в 2005 году составила 654 тысячи тонн, при общей стоимости более 41 млрд тенге. При этом, цена дизельного топлива для тепловозов с конца 2000 г. возросла с 13 млрд. тенге (при полученном объеме 362 млн. тонн) до 41 млрд тенге в 2005 году (при полученном объеме 213 млн тонн). В связи с этим возникает необходимость в обеспечении устойчивого снабжения тепловозов моторным топливом в настоящее время и в перспективе, а также в снижении расходов на его потребление. Указанную задачу АО «Национальная компания«Қазақстан Темір Жолы»» решает несколькими способами: сокращением эксплуатационных непроизводительных затрат и объемов потребления дизельного топлива путем повышения топливной экономичности тепловозных силовых установок;заменой при капитальном ремонте двигателей советского производства дизелями компании «Дженерал электрик» (США);строительством локомотивостроительного завода на основе дизелей американского производства или использованием менее дефицитных и дешевых видов альтернативного топлива [1].

Основное содержание и результаты работы

Анализ, показывает, что в результате совершенствования конструкции дизелей, внедрения компьютерных систем управления, снижения мощности вспомогательных агрегатов и ряда других мероприятий (например, внедрение новых тепловозов российского производства серии 2ТЭ25К, оборудованных дизелем нового поколения с

электронным регулятором частоты вращения коленчатого вала дизеля и электронной системой подачи топлива, микропроцессорной техникой управления и диагностики) эксплуатационная топливная экономичность тепловозов повышается на 7 – 10 %. Снизить дефицит дизельного топлива можно также, раскрыв его фракционный состав (путем прибавлениятяжелых фракций) или увеличив глубину переработки нефти. Это достаточно сложная задача. Во-первых, нефтеперерабатывающая промышленность Республики Казахстан не пытается решать эти проблемы - из года в год ухудшается качество перерабатываемого топлива в связи с тем, что на рынке появляется топливо сомнительного происхождения производства частных минизаводов,аполученная некачественная продукцияотрицательно сказывается на работе тепловозных дизелей. Во-вторых, для тепловозов применение такого топлива связано со снижением моторесурса двигателей и дополнительными затратами на их дообуродование и эксплуатацию.

Анализ текущего состояния локомотивного хозяйства Республики настоятельно требует разработки путей его дальнейшего развития. Обеспечение растущих объемов перевозок средствами тяги невозможно без модернизации, продления срока службы существующих и покупки новых локомотивов [2].

Казахстанскими специалистами в течение нескольких лет проводились предварительные работы по выбору путей обновления магистральных тепловозов. Рассматривались и анализировалась продукция различных локомотивостроительных компаний, выполнялись необходимые технико-экономические расчеты. Были проведены международные семинары с участиемведущих локомотивостроительных фирм, конкурсы на осуществление модернизации тепловозов, выявлены источники финансирования. Итогом этой работы стало заключение контракта на модернизацию казахстанских тепловозов серии 2ТЭ10Мс мировым лидером локомотивостроения – американской фирмой «GE Transportation System» (далее GE). В таблице 1 приведены сравнительные технические данные базового локомотива 2ТЭ10М и модернизированных вариантов.

Таблица 1. Сравнение основных технических характеристик тепловозов

Характеристики	ТЭ10М (1 секция)	ТЭ10МК (1 секция)	ТЭ10МК/1 (1 секция)
Род службы	грузовой	грузовой	грузовой
Передача	Электр., пост. тока	Электр., перем.-пост. тока	Электр., перем.-пост. тока
Управление	Дистанц., из кабины любой секции	Дистанц., из кабины любой секции	Дистанц., из кабины любой секции
Осевая характеристика	3_0-3_0	3_0-3_0	3_0-3_0
Мощность дизеля л.с./кВт	3000/2210	3000/2237	3300/2461
Нагрузка от колесной пары на рельс, кН	226±3%	226±3%	226±3%
Передаточное отношение тягового редуктора	4,41	4,41	4,41
Пусковое тяговое усилие, кН	398,8	425,4	425,4
Длительная сила тяги, кН	248,2	Обеспечивается системой автоматики в зависимости от реализуемого коэффициента сцепления и температуры ТЭД	
Длительная скорость, км/ч	23,4		
Конструкционная скорость, км/ч	100	100	100

Анализ тенденции развития дизелестроения последних десятилетий показывает [3], что двигатели нового поколения для тепловозов должны отвечать следующим требованиям (таблица 2): цилиндровая мощность – 250 – 300 кВт, удельный эффективный расход топлива при нормальных атмосферных условиях в диапазоне0,6-1 полной мощности – не более 191 г/(кВт-ч), что фактически означает расширение зоны работы с номинальным удельным расходом топлива. Расход топлива на холостом ходу должен быть не более 1,2% от его расхода на режиме полной мощности. Суммарный расход масла в межремонтные периоды – не более 0,4% от расхода топлива. Назначенный ресурс дизеля до среднего и капитального ремонтов – не менее 750 и 3000 тыс. км пробега тепловоза, соответственно.

Таблица 2. Тенденция мирового развития тепловозного дизелестроения

Параметр		Значение для дизелей тепловоза	
		магистральных	маневровых
Цилиндровая мощность, кВт		250-300	
Удельный эффективный расход топлива при нормальных атмосферных условиях в диапазоне 0,6-1 полной мощности в условиях тепловоза, не более, г/(кВт*ч)		191	197,2
Расход топлива на холостом ходу от расхода топлива на полной мощности не более, %		1,2	2,5
Суммарный расход масла от расхода топлива, не более, %		0,4	0,6
Назначенный ресурс дизеля, не менее, тыс.км пробега тепловоза (лет)	до среднего ремонта	750	4 года
	до капитального ремонта	3000	20 лет

В СНГ и в частности в Казахстане, на грузовых и пассажирских тепловозах применяются, в основном, два типа дизелей [4]:

- двухтактные десятицилиндровые с расходящимися поршнями и двухступенчатым наддувом типа 10Д100 мощностью 2206 кВт (3000 л.с.) при номинальной частоте вращения коленчатого вала $n_н$ = 850 об/мин;
- четырехтактные V-образные шестнадцатицилиндровые дизели типов 1А-5Д49 и 2В-5Д49 с газотурбинным наддувом мощностью соответственно 2206 кВт (3000 л.с.) и 2941 кВт (4000 л.с.) при номинальной частоте вращения вала $n_н$ — 1000 об/мин.

Мощность тепловозных дизелей в процессе совершенствования их конструкции повышали увеличением рабочего объема цилиндров и давления газотурбинного наддува с одновременным охлаждением наддувочного воздуха. Естественно, возможности увеличения объема цилиндра ограничиваются габаритными размерами кузова локомотива.

Однако с увеличением диаметра цилиндра (D) и хода поршня (S) неизбежно снижается номинальная частота вращения коленчатого вала дизеля, что нежелательно для тягового генератора, так как увеличиваются его габариты и масса. Отмеченное явление вызывается инерционными силами, значение которых растет с увеличением массы деталей кривошипно-шатунного механизма. При этом они действуют во всех четырех тактах одинаково, тогда как газовые силы имеют максимальное значение лишь при рабочем ходе поршня.

Крупный функциональный недостаток современных многоцилиндровых дизелей и в том, что между кинематическими парами кривошипно-шатунного механизма, кроме инерционных сил, циркулируют значительные силы, не создающие на коленчатом валу

эффективного (рабочего) вращающего момента. Так, для сжатия свежего воздушного заряда в каком-либо цилиндре энергия поступает от другого цилиндра, в котором в данный момент времени совершается рабочий процесс расширения горячих газов.

На современных форсированных дизелях с турбонаддувом получена достаточно высокая экономичность номинального режима работы. Так, у дизеля 2В-5Д49 удельный расход топлива на номинальном режиме составляет 216 г/кВт-ч. Однако в этом режиме дизель работает не все время (коэффициент нагрузки тепловоза находится в диапазоне 0,6 — 0,7 от номинальной мощности), вследствие чего удельный расход топлива значительно выше приведенной цифры.

Кроме отмеченных функциональных недостатков, современный дизель имеет и ряд конструктивных, в частности:

- большое количество цилиндров и, следовательно, разнотипных деталей, что снижает надежность работы дизеля и повышает стоимость его изготовления;

- длинный, тяжелый и дорогостоящий коленчатый вал с низким коэффициентом использования стали при его изготовлении, поэтому на его хвостовике должен быть обязательно установлен антивибратор;

- конструктивно сложный и трудоемкий в изготовлении блок, требующий после сварки высокотемпературного отжига для снятия внутренних напряжений, а также высокой точности расточки отверстий под коренные вкладыши коленчатого вала;

- практическая невозможность регулируемого воздушного охлаждения цилиндров. Для жидкостного охлаждения дизеля нужен специальный холодильник, что усложняет конструкцию тепловоза и вызывает необходимость подогрева охлаждающей воды при отстое его в депо в зимнее время.

Учитывая приведенные недостатки, а также тот факт, что возможности дальнейшего формирования современных тепловозных дизелей по наддуву, средней скорости поршня и экономичности работы практически исчерпаны, можно сделать вывод: дальнейший качественный прорыв в дизелестроении возможен лишь применением новых конструктивных решений.

Одним из перспективных конструктивных решений, позволяющих повысить эффективность работы автономных локомотивов является переход на менее дефицитное и дешевое альтернативное моторное топливо – применение природного газа. Как показали исследования, природным газом можно заменить на магистральных тепловозах 70-80 %, на маневровых 50-55 %общего объема потребления дизельного топлива [5]. Значительные запасы природного газа в Казахстане, в принципе, могут обеспечить устойчивое топливоснабжение тепловозов в перспективе.

Первые магистральные газотепловозы работающие на сжиженном природном газе были построены в конце 1980-х г.г. на Ворошиловградском (Луганском) тепловозостроительном заводе: два на базе тепловоза 2ТЭ10 и один на базе 2ТЭ116 [6]. Каждый газотепловоз состоял из трех секций: двух дизельных и одной криогенной, в которой располагались две криогенные емкости, вмещавшие 17 т сжиженного природного газа (из которых 3 т – технологический запас, необходимый для поддержания температуры газа), и только 10 т сжатого газа. Дизельная секция газотепловоза 2ТЭ116Г изначально имела отличия от серийной секции тепловоза: тормозной компрессор КТ-7 был выполнен с механическим приводом от коленчатого вала дизеля; для вентиляции кузова использовался мотор-вентилятор во взрывозащищенном исполнении; были установлены сигнализаторы концентрации газа «Щит-2-1с»; силовой установкой служил газовый дизель-генератор 1ГДГ с

электронной системой контроля регулирования и защиты дизеля (СКРЗД-3) и дополнительно введенной системой газоподачи.

Для решения задач в рамках энергетической стратегии ОАО «Российские железные дороги» о замещении дизельного моторного топлива альтернативными видами топлива коллектив ОАО «ВНИКТИ» в 2005 г. приступил к разработке магистрального грузового газотурбовоза ГТ-1 мощностью 8300 кВт [7].В качестве силовой установки был применен газотурбинный двигатель (ГТД) НК-361 производства ОАО «СНТК им. Н.Д. Кузнецова», работающий на сжиженном природном газе (СжПГ). Газотурбовоз ГТ-1 состоит из двух секций. Энергетическое оборудование (ГТД, тяговый генератор) расположено в одной секции, а криогенная емкость для хранения СжПГ и аппаратура топливоподачи – в другой. Применение сжиженного природного газа позволило обеспечить необходимый запас топлива для бездозаправочного пробега в 1000 км. Перевод природного газа из сжиженного состояния в газообразное (газификация) происходит за счет тепла выпускных газов турбины ГТ-1. При этом передача криогенного газа из секции с криогенной емкостью в секцию с ГТД осуществляется с использованием специально разработанных гибких межсекционных криогенных трубопроводов.

Общий алгоритм и рекомендации, цифровые модели

Как известно, поиск новых конструктивных решений возможен на основе сравнения существующих вариантов и выбора наиболее приемлемой конструкции. В данной работе предпринята попытка оценки базовой модели магистрального тепловоза 2ТЭ116 с газотепловозом 2ТЭ116Г и газотурбовозом ГТ1-001.В работе [8] в качестве мерила, на основании которого можно количественно оценивать выполнение машиной заданной функции предлагается использовать функциональный критерий, соответствующий ее основному назначению. Функциональный критерий λ_i или конечный результат функционирования машины представляет собой следующее выражение

$$\lambda_i = V_i(C_{ij}, u)u, \tag{1}$$

где V_i - производительность машины; C_{ij} - j-й конструктивный или режимный параметр, влияющий на производительность i-й машины; u- параметр условий эксплуатации.

Для оценки уровня качества машин предлагается использовать обобщенный (комплексный) показатель K_i, прямо пропорционально зависящий от величины функционального критерия машины в заданных условиях эксплуатации

$$K_i = \frac{\lambda_i}{(m-1)\sum_{j=1}^{m}\frac{q_{bj}}{P_{ij}}}\sqrt{\sum_{j=1}^{m}[\frac{q_{bj}}{P_{ij}}(\sum_{j=1}^{m}\frac{q_{bj}}{P_{ij}}-\frac{q_{bj}}{P_{ij}})]^2}, \tag{2}$$

где P_{ij} - j-й показатель качества i–й машины; q_{bj}- базовое значение удельной величины j-го показателя качества; m- количество показателей качества, принятых для оценки.

Основными достоинствами данного подхода при сравнении технологического оборудования являются: наличие функциональной основы, что позволяет сравнивать машины одного функционального назначения, но различного конструктивного исполнения и отсутствие коэффициентов весомости, которые в большинстве случаев определяются экспертным путем, что создает определенные трудности и не позволяет объективно оценить уровень эффективности техники. Необходимо также отметить, что предлагаемый обобщенный показатель уровня качества по комплексному показателю K_i является удобным параметром для получения перспективных (прогнозных) значений технических показателей машин определенного типоразмера, для этого необходимо получить эмпирическую зависимость, описывающую тенденцию изменения уровня качества во времени (тренд) и экстраполировав аналитическую кривую за пределы предыстории на определенный период упреждения, равный жизненному циклу машины, вычислить прогнозное значение уровня качества по комплексному показателю. Путем дезагрегирования полученного прогнозного значения K_i можно определить перспективные значения единичных технико-эксплуатационных показателей, по которым завод-изготовитель может целенаправленно создавать конструкцию машины, наиболее полно удовлетворяющую условиям эксплуатации. В таблице 3 приведены выбранные абсолютные значения показателей сравниваемых локомотивов.

Таблица 3. Абсолютные значения показателей качества автономных локомотивов

№ п/п	Показатели	Тепловоз 2ТЭ116	Газотепловоз 2ТЭ116Г	Газотурбовоз ГТ1-001
	Функциональный критерий, λ, т*км^2/ч	2,55*10^6	2,42*10^6	6,4*10^6
1	Запас топлива, т: дизтоплива,сжиженного природного газа	13,36 (2*6,68)	2*7, 17	17
2	Служебная масса, т: тяговой,криогенной	276 (2*138)	138;88 (одной секции)	300
3	Мощность, кВт	4500 (2*2250)	4500 (2*2250)	6720 (на валах тяговых двигателей)
4	Часовой расход топлива	0,2 кг/кВт*ч	(при темп. газа t=5-20^{o}C), подача газа в газодизель 500кг/ч=0,22кг/кВт*ч	0,34 кг/кВт*ч
5	Конструкционная скорость, км/ч	100	100	100
6	Скорость длительного режима, км/ч	24	23,4	38
7	Сила тяги длительного режима, кН	520 (2*255)	520 (2*255)	620
8	Сила тяги при трогании с места, кН	810	810	883
9	К.П.Д., %	42	36	30
10	Выбросы, холост ход:- оксид азота (NO_X)	180 мг/м^3	153 мг/м^3	95 мг/м^3

Полученные результаты оценки уровня качества сравниваемых локомотивов с учетом вышеприведенного подхода представлены в таблице 4:

Таблица 4. Значения уровней качества локомотивов по единичным и комплексному показателю

№ п/п	Локомотив/ показатели	$к_1$	$к_2$	$к_3$	$к_4$	$к_5$	$к_6$	$к_7$	$к_8$	$к_9$	$к_{10}$	K_i
1	Тепловоз 2ТЭ116	0,505	0,719	0,59	0,866	0,398	0,627	0,475	0,437	0,284	1	0,587
2	Газотепловоз 2ТЭ116Г	0,22	1	0,564	1	0,378	0,61	0,451	0,419	0,317	0,584	0,542
3	Газотурбовоз ГТ1-001	1	0,312	1	0,588	1	1	1	1	1	0,209	0,8

где $к_i$ – уровень качества по принятым единичным показателям(таблица 3).

На рисунках 1 и 2 представлены графики зависимостей функционального критерия и единичных уровней качества локомотивов от уровня качества по комплексному показателю.

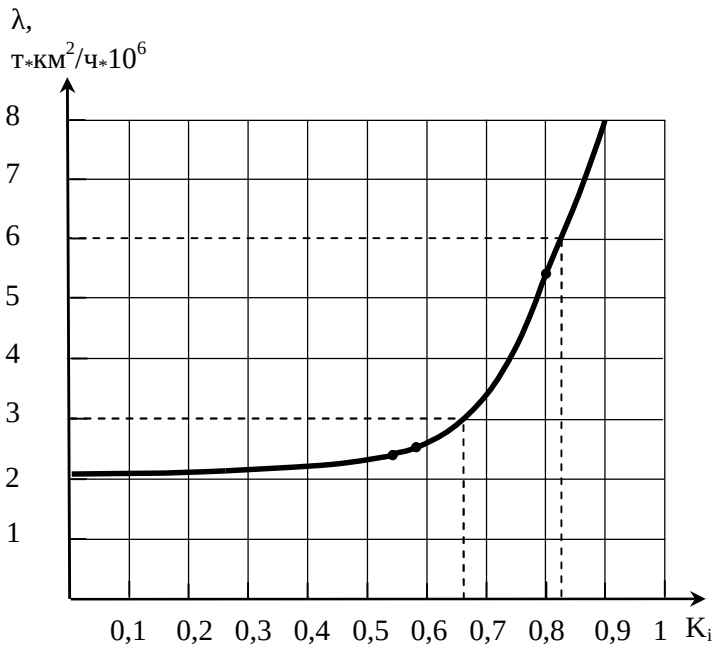


Рис. 1. График зависимости функционального критерия локомотивов от уровня качества по комплексному показателю

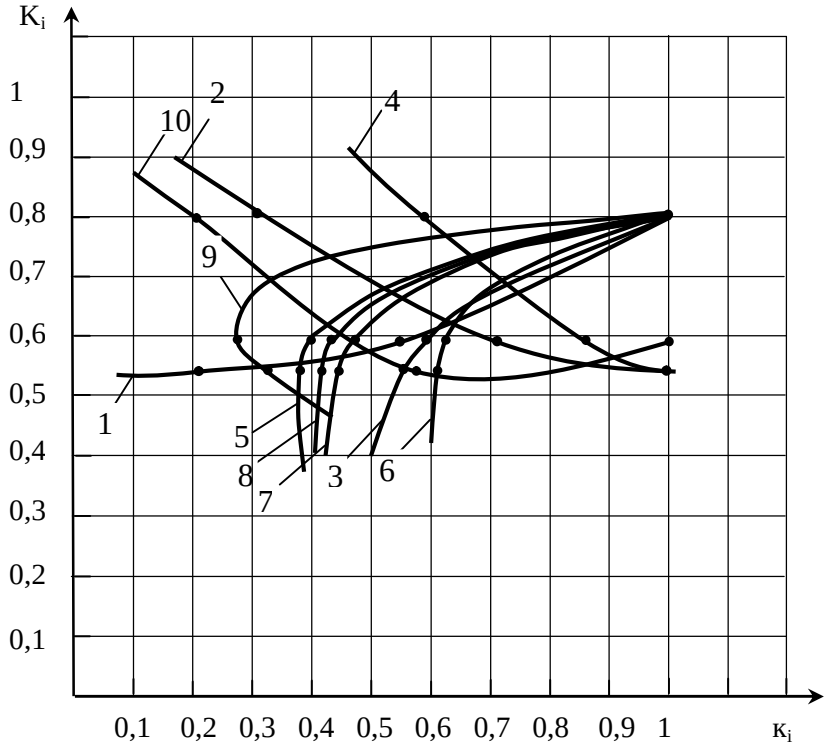
Заключение

В целом, выполненный анализ результатов оценки уровней качества сравниваемых локомотивов, позволяет сделать следующие обобщающие выводы:

- результаты проведенной оценки позволяют составить эталонную (гипотетическую) модель, обладающую наиболее совершенной конструкцией из числа

сравниваемых локомотивов, для данных условий эксплуатации (эталонная модель имеет единичные показатели, уровни качества которых k_{ij} =1);

- с другой стороны, полученные результаты позволяют выявить «узкие» места в конструкциях сравниваемых локомотивов с целью их дальнейшего технического совершенствования (путем переноса удачных конструктивных решений на совершенствуемую модель);



1 –запас топлива, 2 –служебная масса, 3 –мощность, 4 –часовой расход топлива, 5–конструкционная скорость, 6 –скорость длительного режима, 7 –сила тяги длительного режима, 8 –сила тяги при трогании с места, 9 –К.П.Д., 10 –выбросы на холостом ходу.

Рис. 2. Графики зависимости единичных уровней качества локомотивов от комплексного показателя

- в то же время результаты исследований показали, что уровень качества одних и тех же конструктивных решений может варьироваться в достаточно широких пределах, что говорит о том, что улучшением одного параметра трудно добиться значительного повышения комплексного показателя качества;

- полученные значения обобщенного показателя уровня качества локомотивов позволяют констатировать, что наиболее пригодными к работе в соответствующих условиях эксплуатации являются те конструкции, которые в данных условиях имеют большую производительность и, соответственно, большее значение функционального критерия локомотивов λ_i ;

- функциональный критерий локомотивов λ_i является тем комплексным параметром, улучшая который, можно достаточно существенно повысить значение

обобщенного показателя уровня качества локомотива (при увеличении λ_i в 2 раза, K_i увеличивается в 1,26 раза, рисунок 1).

Список литературы:

1. Таласпеков К. Повышение эффективности работы подвижного состава на железной дороге Казахстана / К. Таласпеков, Т. Саржанов, Г. Мусаева // Магистраль. – 2006. – №15. – С. 46.

2. Куанышев Б. Модернизация магистральных тепловозов 2ТЭ10М в Казахстане / Б. Куанышев, М. Медеубаев, В. Ширяев // Магистраль. – 2007. – №15. – С. 66.

3. Коссов В.С. Перспективы автономной тяги / В.С. Коссов // Локомотив. – 2005. – №6. – С. 36.

4. Беляев А.И. Тепловозные дизели: перспективы совершенствования / А.И. Беляев, Е.В. Князев // Локомотив. – 2004. – №7. – С. 34.

5. Фофанов Г.А., Федотов Г.Б. // ВНИИЖТ. – 1995. – Электронный ресурс: http://www.ekip-gas.ru/lng/6/lng1.shtml

6. Новиков Д.В. Магистральный газотепловоз 2ТЭ116Г: этапы модернизации / Д.В. Новиков // Железнодорожный транспорт. – 2011. – №3. – С. 54.

7. Руденко В.Ф. Газотурбовоз ГТ-1 на альтернативном моторном топливе СПГ / В.Ф. Руденко, А.Г. Воронков, Е.Ю. Стальнов // Транспорт на альтернативном топливе. – 2009. – №5 (11).

8. Солод Г.И. Управление качеством горных машин: учебное пособие / Г.И. Солод, Я.М. Радкевич. – М.: МГИ, 1985. – 92 с.

Надійшла до редколегії 20.02.2012.

Н.А. Даніяров, С.К. Малибаєв, Т.К. Балгабеков, А.З. Акашев, А.К. Келисбеков

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ РУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЦЬ

У статті розглянуті питання розвитку локомотивної автономної тяги залізничного транспорту Республіки Казахстан, шляхи зниження витрат на споживання дизельного палива тепловозами. Як показали дослідження, якісний прорив у дизелебудуванні можливий за рахунок застосування нових конструктивних рішень. Одним з перспективних варіантів, що дозволяють підвищити ефективність роботи автономних локомотивів, являється перехід на менш дефіцитне і дешеве альтернативне моторне паливо - застосування природного газу. У роботі зроблена спроба оцінки базової моделі магістрального тепловоза 2ТЭ116 з газотепловозом 2ТЭ116Г і газотурбовозом ГТ1-001.

Ключові слова: *локомотив, газотепловоз, газотурбовоз, оцінка, рівень якості.*

N.A. Daniyarov, S.K. Malybaev, T.K. Balgabekov, A.Z. Akashev, A.K. Kelisbekov

WAYS OF INCREASE OF EFFICIENCY OF OPERATION ROLLING STOCK OF THE RAILWAYS

In article questions of development of locomotive independent draft of a railway transportation of Republic Kazakhstan, a way of decrease in expenses on consumption of diesel fuel by diesel locomotives are considered.As have shown researches, qualitative break in diesel building is possible at the expense of application of new constructive decisions.One of the perspective variants, allowing to raise overall performance of independent locomotives transition to less scarce and cheap alternative motor fuel – application of natural gas is.In work attempt of an estimation of base model of the main diesel locomotive 2TE116 with gaslocomotive 2TE116G and gasturbolocomotive GT1-001 is undertaken.

Keywords: *the locomotive, gaslocomotive, gasturbolocomotive, an estimation, a degree of quality.*