

IMPROVING THE FUEL CONSUMPTION EFFICIENCY OF SHUNTING DIESEL LOCOMOTIVE BY ADJUSTING DIESEL GAS DISTRIBUTION PHASE ANGLES

Kulmanov B.T.¹, Grachev V.V.², Xamidov O.R.¹, Kasimov O.T.¹, Ergashev O.E.¹

¹Tashkent State Transport University (Tashkent, Uzbekistan)

²St. Petersburg State Transport University of Emperor Alexander I (St. Petersburg, RF)

Abstract In this research work, the options for reducing the average operating fuel consumption of the locomotive by optimizing the gas distribution phase angles using the mathematical model of the working process of the diesel cylinder of a shunting locomotive are studied. In addition, the impact of the application of the electronic fuel injection control system on the efficiency of fuel consumption in shunting locomotives with a mechanical transmission fuel injection system was studied.

Keywords: Locomotive engine operating modes, fuel injection angle, relative effective fuel consumption, reliability of engine operation, temperature of burnt gases.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАСХОДА ТОПЛИВА МАНЕВРОВОГО ТЕПЛОВОЗА ЗА СЧЕТ РЕГУЛИРОВКИ УГЛОВ ФАЗ ГАЗОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДИЗЕЛЯ

Кулманов Б.Т.¹, Грачев В.В.², Хамидов О.Р.¹, Касимов О.Т.¹, Эргашев О.Э.¹

¹Ташкентский государственный транспортный университет (Ташкент, Узбекистан)

²Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, (Санкт-Петербург, Российская Федерация)

Аннотация В данной научно-исследовательской работе с использованием математической модели рабочего процесса дизельного цилиндра маневрового тепловоза исследованы варианты снижения среднего эксплуатационного расхода топлива локомотива за счёт оптимизации углов фаз газораспределения. Кроме того, изучено влияние применения электронной системы управления впрыском топлива на эффективность расхода топлива в маневровых локомотивах с механической трансмиссией системы впрыска топлива.

Ключевые слова: Режимы работы двигателя локомотива, угол впрыска топлива, относительный эффективный расход топлива, надёжность работы двигателя, температура сгоревших газов.

MANYOVR TEPLOVOZINING YOQILG‘I SARFI SAMARADORLIGINI DIZELNING GAZ TAQSIMLASH FAZALARI BURCHAKLARINI ROSTLASH YORDAMIDA OSHIRISH

Kulmanov B.T.¹, Grachev V.V.², Xamidov O.R.¹, Kasimov O.T.¹, Ergashev O.E.¹

¹Toshkent davlat transport universiteti (Toshkent, O‘zbekiston)

²Imperator Aleksandr I nomidagi Sankt-Peterburg davlat transport universiteti (Sankt-Peterburg, Rossiya Federatsiyasi)

Annotatsiya Ushbu tadqiqot ishida manyovr teplovozi dizeli silindri ishchi jarayonining matematik modeli yordamida gaz taqsimlash fazalari burchaklarini optimallashtirish

orqali teplovoznining o'rtacha ekspluatatsion yoqilg'i sarfini kamaytirish variantlari o'rganilgan. Bundan tashqari, mexanik uzatmali yoqilg'ini sepish tizimiga ega manyovr teplovozlari yoqilg'i sepishni boshqarishning elektron tizimini tadbqiq etishning yoqilg'i sarfi samaradorliga ta'siri o'rganilgan.

Kalit so'zlar: Teplovoz dvigatelining ish rejimlari, yoqilg'ini sepish burchagi, yoqilg'ini solishtirma effektiv sarfi, dvigatel ishining ishonchliligi, yongan gazlar harorati.

Sanoat korxonalari va umumiy temir yo'llarda foydalaniladigan manyovr teplovozlarning ishini o'rganish natijalari shuni ko'rsatadiki, ushbu teplovozlarda ishlash jarayonida deyarli o'zining kuch qurilmasining nominal rejimlarida ishlamaydi [1,4]. Maqola mualliflari tomonidan [2] maqolada manyovr teplovozlari sanoat korxonalari va umumiy temir yo'llar sharoitida real ishlash rejimlari va yoqilg'i sarflari batafsil keltirilgan. Bundan tashqari yuqoridagi maqolada yoqilg'ini sepish burchagini (YSB) o'zgartirish (teplovoznining ish rejimidan kelib chiqqan holda) teplovoznining o'rtacha ekspluatatsion yoqilg'i sarfiga va silindr porshen guruhining ishonchliligiga ta'sirini TƏM2 teplovozi misolida ko'rib chiqilgan.

Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatdiki, manyovr teplovozlarning dvigateli ustuvor tarzda nominal rejimlardan farqli rejimlarda (mashinist nazoratchisining 0-5 holatlarida) ishlaydi va TƏM2 teplovozi ПД1М dizelida YSB qiymatini 29 gradusdan 14 gradusga o'zgartirish dizel yoqilg'isining o'rtacha ekspluatatsion sarfini 5...8% gacha pasayishiga olib keladi.

Manyovr teplovozlarning ekspluatatsiyadagi yoqilg'i sarfi samaradorligi, eng avvalo uning dizel dvigatelining kichik yuklanishlar va salt ishlash rejimlarida sifatli ishlashi bilan belgilanadi [2].

Bundan tashqari, teplovozlarni loyihalashtirilayotganda uning barcha konstruktiv va asosiy sozlanuvchi parametrlari (YSB va gaz taqsimlash fazalari burchaklari) faqatgina dizel-generator qurilmasining nominal rejimi uchun optimallashtiriladi [3,5].

Yuqoridagilarni inobatga olib, manyovr teplovozlarning ekspluatatsion yoqilg'i sarfi samaradorligini yoqilg'ining solishtirma effektiv sarfi mezonini bo'yicha gaz taqsimlash fazalari (GTF) burchaklarining nominal qiymatlarini o'zgartirish yo'li orqali oshirish imkoniyatini o'rganish maqsadga muvofiqdir.

Ushbu ilmiy tadqiqot ishida, [2] maqolada keltirilgan ma'lumotlarga tayangan holda, TƏM2 manyovr teplovozi ПД1М dizelining GTF burchaklarini YSB ning har-xil qiymatlarida o'zgartirish, teplovoznining o'rtacha ekspluatatsion yoqilg'i sarfiga ta'siri o'rganib chiqilgan. Shu bilan bir qatorda, tadqiqotda teplovoznining sozlanuvchi parametrlarining o'zgarishi yongan gazlar tarkibidagi zararli moddalarning qiymatiga ta'siri ham o'rganilgan.

Tadqiqotni amalga oshirish maqsadida ПД1М (6ЧН31,8/33,0) dizelining matematik modeli "Дизель-РК" dasturi yordamida yaratildi va hisob ishlari amalga oshirildi [6].

Birinchi bosqichda taqsimlash vali mushtchalarining profilini o'zgartirish yo'li orqali teplovoznining kichik yuklanishli ish rejimlarida ishchi jarayonning solishtirma effektiv yoqilg'i sarfi qiymatini kamaytirish imkoniyati mavjudligi tekshirib ko'rildi. Ya'ni GTF burchaklarining barcha qiymatlari alohida o'zgartirilib silindr ichidagi ishchi jarayonning kechish sifati tahlil qilindi. Chunki GTF burchaklarining qiymatlarini aynan taqsimlash vali mushtchalarining profili belgilaydi [7].

Shundan so'ng, dizelning klapanlarini boshqaruvchi taqsimlash valini tirsakli valning aylanish yo'nalishi va unga teskari yo'nalishda aylantirish dvigatelning ishchi jarayoni sifatiga ta'siri o'rganildi. Ya'ni, taqsimlash vali aylantirilganda barcha GTF burchaklari aylanish yo'nalishiga mutanosib ravishda o'zgarishi holatiga moslashtirildi va YSB qiymatining [2] maqolada keltirilgan qiymatlari uchun hisob ishlari amalga oshirildi.

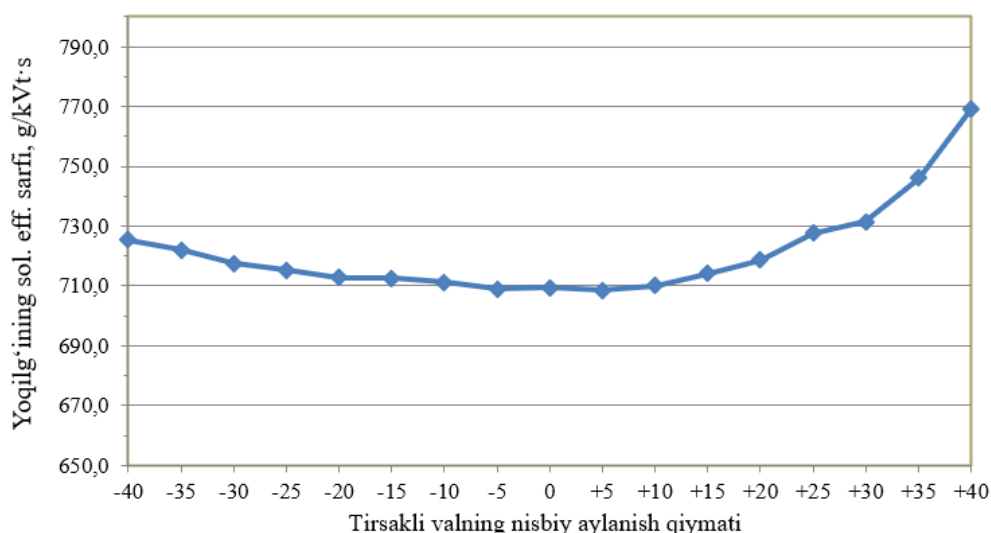
Hisob-kitoblar jarayonida yoqilg'ini solishtirma effektiv sarfi optimallik mezonini sifatida qabul qilindi [8] va GTF burchaklarining qiymatlarini o'zgartirgan holda, mashinist nazoratchisining barcha holatlari uchun teplovoz xarakteristikasi bo'yicha dizel ishchi jarayoni parametrlarining qiymatlari aniqlandi. Fazalar yoqilg'ining solishtirma effektiv sarfining minimumigacha yoki aniq bir GTF burchagining chegaraviy qiymatigacha o'zgartirilib hisob ishlari amalga oshirildi.

Tadqiqot natijalarining tahlili. Manyovr teplovozlari ekspluatatsiya jarayonida asosan salt ishlash rejimi va mashinist nazoratchisining kichik holatlarida ishlagani sababli, uning yoqilg'i sarfi

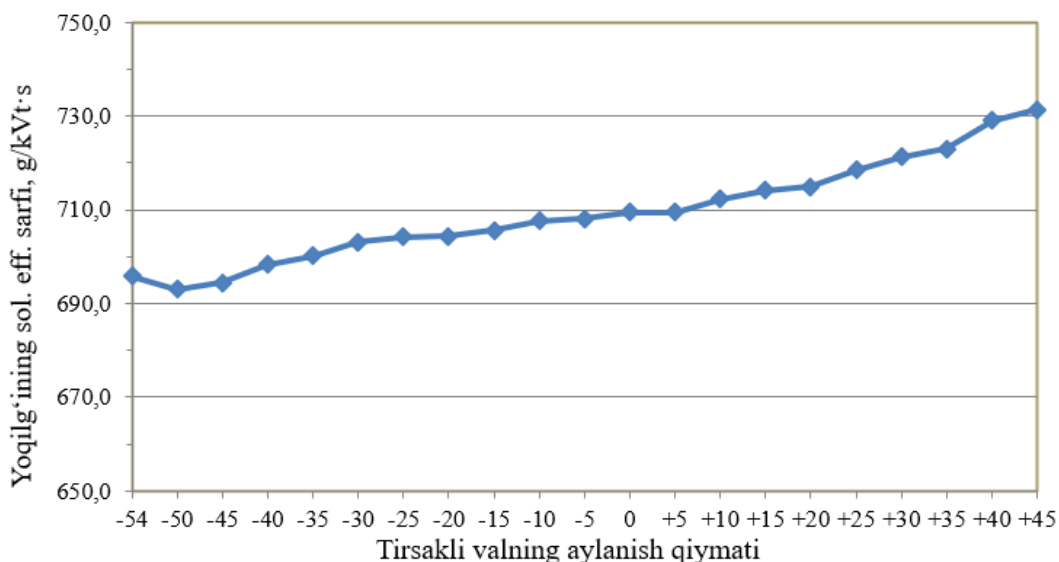
bo'yicha samaradorligini oshirishni aynan mana shu rejimlarda amalga oshirish maqsadga muvofiqdir [9,11].

YSB ning pasport qiymatini (29 gradus) o'zgartirmagan holda GTF burchaklarini alohida o'zgartirishning yoqilg'ini solishtirma effektiv sarfiga ta'sirini salt ishlash rejimida o'rganildi.

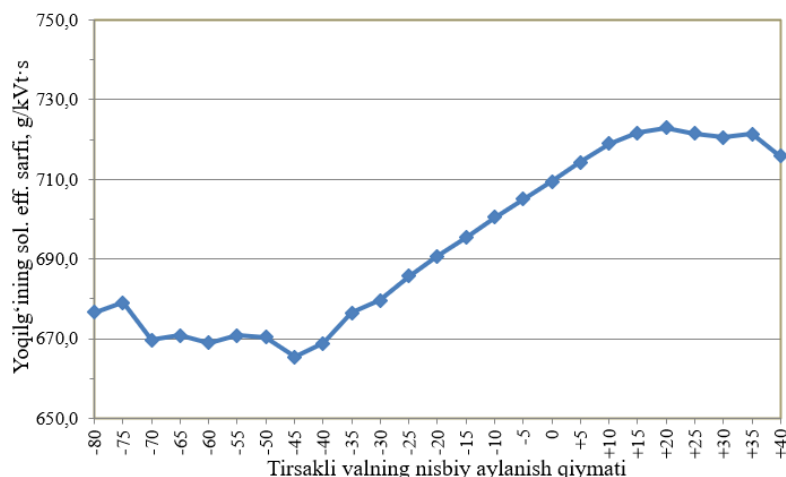
Hisoblash natijalari 1-4 rasmlarda keltirilgan. Manfiy ishora tirsakli valning aylanish yo'nalishi bo'yicha, musbat ishora esa teskari yo'nalishda o'zgarishini anglatadi. Barcha grafiklarda absissa o'qi bo'yicha aniq GTF burchagi qiymatining tirsakli val aylanishi burchagi bo'yicha nisbiy o'zgarishi qiymati qabul qilingan.



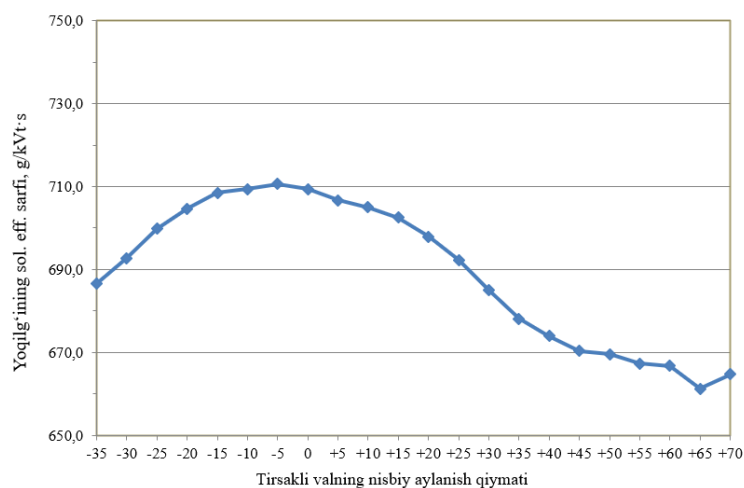
1-rasm. Salt ishlash rejimida yoqilg'ini solishtirma effektiv sarfining chiqarish klapani ochilish burchagining har xil qiymatlarida o'zgarishi. Boshqa barcha GTF burchaklari o'zgarishsiz.



2-rasm. Salt ishlash rejimida yoqilg'ini solishtirma effektiv sarfining chiqarish klapani yopilish burchagining har xil qiymatlarida o'zgarishi. Boshqa barcha GTF burchaklari o'zgarishsiz.



3-rasm. Salt ishlash rejimida yoqilg'ini solishtirma effektiv sarfining kiritish klapani ochilish burchagining har xil qiymatlarida o'zgarishi. Boshqa barcha GTF burchaklari o'zgarishsiz.



4-rasm. Salt ishlash rejimida yoqilg'ini solishtirma effektiv sarfining kiritish klapani yopilish burchagining har xil qiymatlarida o'zgarishi. Boshqa barcha GTF burchaklari o'zgarishsiz.

Hisoblarning barcha variantlarida yongan gazlarning turbina oldi harorati 500 °C ([10] bo'yicha chegaraviy ruxsat etilgan qiymat) dan oshmadi. Yuqorida keltirilgan grafiklardan GTF ning bir qancha optimal variantlari samaradorlik va mantiqan to'g'riligi jihatdan tanlab olindi. Tanlangan GTF variantlari uchun dizelning quyidagi parametrlari nominal rejimda hisoblandi. Hisob natijalari 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadval.

GTF ning optimal qiymatlari uchun hisob natijalari

№	Dizelning ish rejimi	Chiqarish GTF (grad.)		Kiritish GTF (grad.)		Yoqil.sol.ef.. sarfi g/kVt·s	T _{yog} (K)
		Ochilishning boshlanishi	Yopilishning oxiri	Ochilishning boshlanishi	Yopilishning oxiri		
1.	Salt ishlash	50	14	40	75	635,14	364,86
	8-MNH	50	14	40	75	237,84	924,3
2.	8-MNH	50	14	50	65	236,27	900,1
3.	8-MNH	50	14	60	55	235,4	883,43

Jadvaldagi hisob natijalari shuni ko'rsatadiki, GTF qiymatlarining 1-variantida yoqilg'ini solishtirma effektiv sarfi (YSES) qiymati salt ishlash rejimida 11,6% ga kamaydi (709,42 g/kVt·s edi), nominal rejimda esa 4,1 % ga ortdi (225,62 g/kVt·s edi). Bundan tashqari nominal rejimda yongan

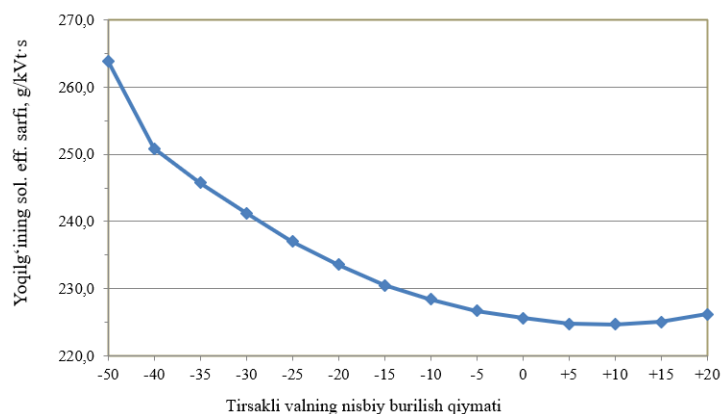
gazlarning harorati 27,1% ga oshdi (727,09 K edi) va [10] ga asosan chegaraviy ruxsat etilgan qiymatidan oshib ketdi.

Hisoblashning 2,3-varinatlari ham kutilgan natijalarni bermadi. Ikkala holatda ham YSES va yongan gazlarning harorati o'zining nominal qiymatlaridan baland bo'ldi.

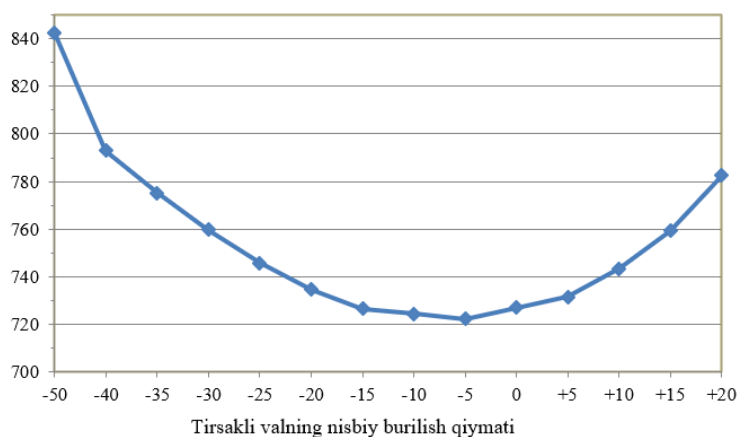
Natijalar shuni ko'rsatadiki, GTF larini alohida o'zgartirib teplovoz dizellarida samaradorlik va ishonchlilikni oshirish bo'yicha ijobiy natijalarni olish, kengaytirilgan tadqiqotlarni talab etadi [11].

Teplovoz dizeli ishining ishonchliligini pasaytirmasdan YSES ni kamaytirish maqsadida, an'anaviy gaz taqsimlash mexanizmiga ega manyovr teplovozlarining GTF burchaklari qiymatlari birgalikda o'zgartirilib tadqiqot ishlari amalga oshirildi. Hisob ishlari an'anaviy gaz taqsimlash mexanizmidagi taqsimlovchi valni o'z o'qi atrofida aylantirishni nazarda tutadi.

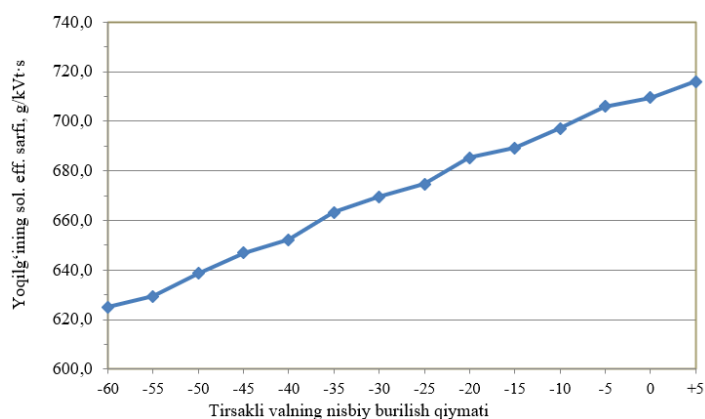
Tadqiqotda taqsimlovchi valning o'z o'qi atrofida aylantirishda dizelning salt ishlash va nominal rejimlarida ishchi jarayonning asosiy parametrlariga ta'siri o'rganildi. Tadqiqot natijalari 5-8 rasmlarda keltirilgan. Har bir GTF burchaklarining qiymatlari tirsakli valning aylanish burchagiga nisbatan olindi. Absissa o'qi bo'yicha ushbu burchakning nisbiy o'zgarishi keltirilgan.



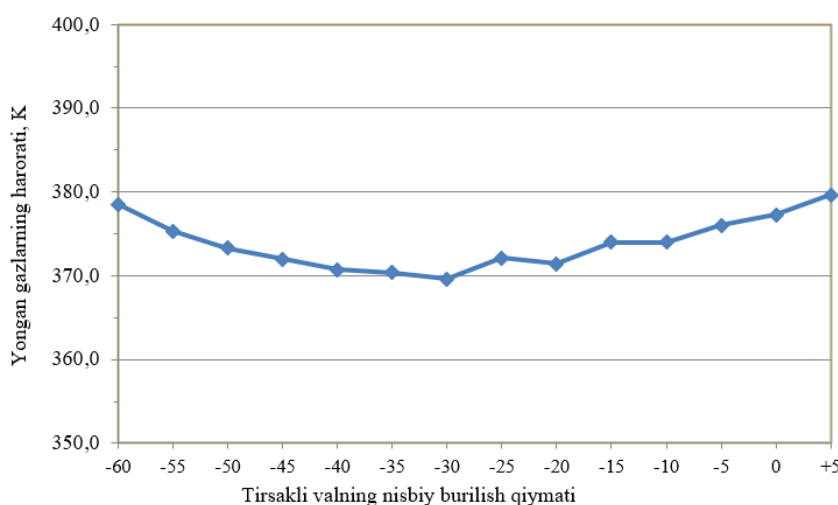
Rasm 5. Yoqilg'ining solishtirma effektiv sarfining nominal rejimda tirsakli valning nisbiy burilishiga bog'liqligi



Rasm 6. Yongan gazlar haroratining nominal rejimda tirsakli valning nisbiy burilishiga bog'liqligi



Rasm 7. Yoqilg'ining solishtirma effektiv sarfining salt ishlash rejimida tirsakli valning nisbiy burilishiga bog'liqligi



Rasm 8. Yongan gazlar haroratining salt ishlash rejimida tirsakli valning nisbiy burilishiga bog'liqligi

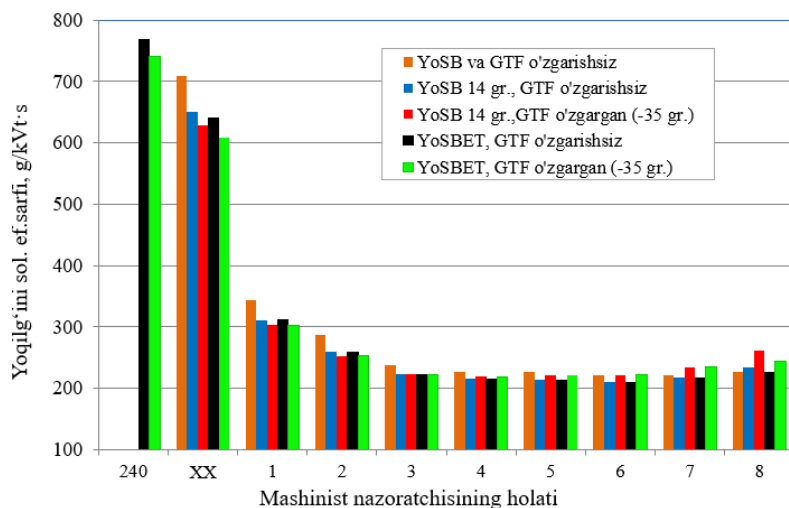
5-8 rasmlardan ko'rinib turibdiki, salt ishlash rejimida GTF burchaklarini guruhlab o'zgartirish YSES qiymatini keskin, yongan gazlar harorati (YGH) qiymatini esa deyarli o'zgartirmaydi. Dizelning nominal ish rejimida esa, GTF burchaklarini guruhlab istalgan yo'nalishda o'zgartirish YSES va YGH qiymatlarini keskin oshib ketishiga sabab bo'ladi.

Salt ishlash rejimida, GTF burchaklarining qiymatlarini tirsakli valning aylanish yo'nalishi bo'ylab aylantirib o'zgartirish YSES ni kamayishiga olib kelar ekan. Ammo, tirsakli valning aylanish yo'nalishi bo'ylab GTF burchaklarini 35 gradusdan ortiq o'zgartirish nominal ish rejimida YGH qiymatini chegaraviy ruxsat etilgan qiymatidan oshib ketishiga sabab bo'ladi [10]. Tirsakli valning aylanish yo'nalishi bo'ylab aylantirishdan hosil bo'lgan GTF burchaklari qiymatlarida mashinist nazoratchisining oraliq holatlari (1-7 holatlar) va yoqilg'ini sepish burchagini turli qiymatlari (4-39 gradus oraliqda, 5 gradusdan) uchun ham ishchi jarayonning asosiy ko'rsatkichlari hisoblandi.

Amalga oshirilgan ishlardan so'ng, barcha hisoblash variantlari o'zaro solishtirilib taqqoslandi. Qo'shimcha ravishda, ushbu manyovr teplovozlarni yoqilg'i sepishni boshqarishning elektron tizimi (YSBET) bilan jihozlash qanchalik samara keltirishi ham nazariy jihatdan hisoblandi. Bunda elektron tizim dizelning ishi davomida yoqilg'ini sepish burchagini avtomatik ravishda o'zgartirish imkoni borligi ustuvor qilib olindi [12]. Qo'shimcha ravishda manyovr teplovozini YSBET bilan jihozlab GTF burchaklarini ham guruhlab tirsakli valning yo'nalishi bo'ylab 35 gradusga o'zgartirganda ishchi jarayonning parametrlarini o'zgarishini teplovoz xarakteristikasida o'rganildi.

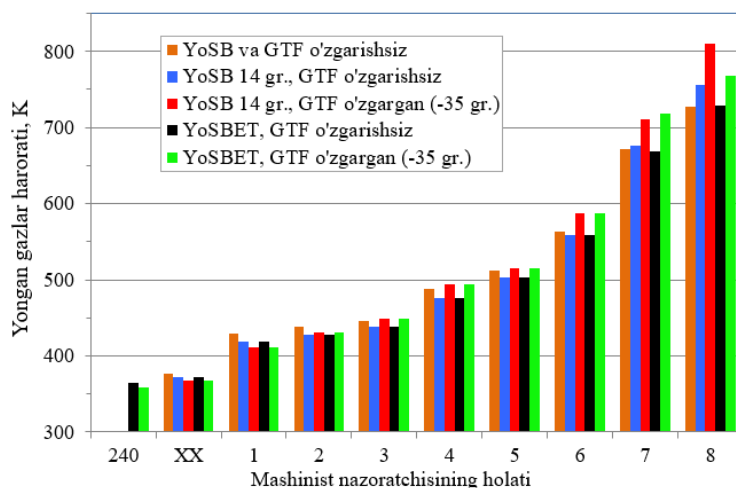
Shundan so'ng, hisoblangan quyidagi variantlar natijalari bo'yicha YSES va YGH qiymatlari o'zaro solishtirilib tahlil qilindi:

1. YSB va GTF o'zgarishsiz;
 2. YSB 14 gradus, GTF esa o'zgarishsiz;
 3. YSB 14 gradus, GTF burchaklarining barcha qiymatlari esa tirsakli valning yo'nalishi bo'yicha 35 gradusga o'zgargan;
 4. YSB qiymatlari eng samarador, GTF esa o'zgarishsiz;
 5. YSB qiymatlari eng samarador, GTF burchaklarining barcha qiymatlari esa tirsakli valning aylanish yo'nalishi bo'yicha 35 gradusga o'zgargan.
- 4,5 variantlar teplovozni YSBET bilan jihozlangan holatlarni nazarda tutadi. Hisob natijalari 9,10 rasmlarda grafik ko'rinishida keltirilgan.



Rasm 9. Yoqilg'ining solishtirma effektiv sarfi qiymatining teplovoz xarakteristikasi bo'yicha YSB va GTF ning turli qiymatlarida o'zgarishi

9, 10 – rasmdagi grafiklardagi absissa o'qidagi 240 rejim, dizel tirsakli valining 240 ayl/daq rejimiga to'g'ri keladi. YSBET dizel-generator kuch qurilmasi yuklamasiz ishlaganda tirsakli valning aylanishlar sonini 240 ayl/daq rejimida tutib tura oladi [13]. Shuning uchun bu rejim ham tadqiqot sifatida olindi va hisoblandi.

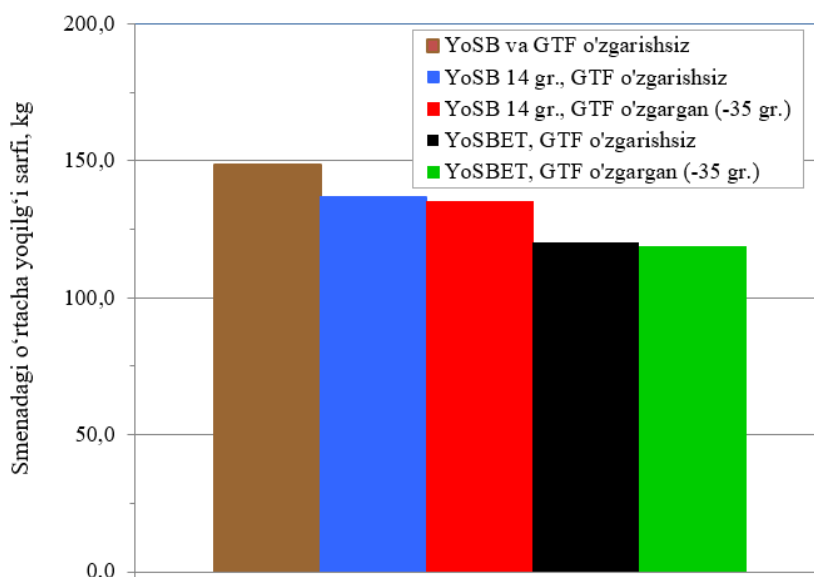


Rasm 10. Yongan gazlar haroratining teplovoz xarakteristikasi bo'yicha YSB va GTF ning turli qiymatlarida o'zgarishi

Natijalardan ko'rinib turibdiki, YSES va YGH qiymatlari mashinist nazoratchisining turli qiymatlarida har xil qiymatlar qabul qiladi. Teplovozning umumiy ekspluatatsion yoqilg'i sarfida iqtisod mavjud yoki yo'qligini uning real ish rejimlaridan kelib chiqqan holda tahlil qilindi. Tadqiqot uchun

olingan ТЭМ18ДМ teplovozinig sanoat transporti sifatida foydalanilgan sharoitda ishlash rejimlari vaqtlaridan foydalanib [2] teplovoznig bir smena davomida o'rtacha sarflagan yoqilg'isi miqdorini tadqiqot amalga oshirilgan yuqoridagi variantlar uchun solishtirildi.

Taqqoslama, tahliliy natijalar 11-rasmda keltirilgan.



Rasm 11. Teplovoznig YSB va GTF larining turli qiymatlarida o'rtacha bir smena davomida yoqilg'isi sarflari

Diagrammadan ko'rinadiki, YSB ning 14 gradusga teng qiymatida GTF burchaklari qiymatlarini tirsakli valning aylanish yo'nalishi bo'ylab 35 gradusga o'zgartirish smenaviy yoqilg'isi sarfini qo'shimcha ravishda yana 1,4% ga kamaytiradi. Ammo bu usul teplovoz mashinisti nazoratchisining 8-holatida YGH ni 810 °K (537 °C) gacha ko'tarilishiga sabab bo'ladi.

Smenaviy o'rtacha yoqilg'isi sarfi teplovozni YSBET bilan ta'minlangan holatda sezilarli taxminan 23% ga kamayadi. Bu esa Respublikamizda ekspluatatsiya qilinayotgan mexanik yoqilg'isi sepish tizimiga ega manyovr teplovozlarida YSBET ni tadbiq qilish yoqilg'isi sarfida katta iqtisod keltirishini anglatadi. Ushbu holatda GTF burchaklarini tirsakli valning aylanish yo'nalishi bo'ylab 35 gradusga o'zgartirish ham qo'shimcha ravishda smenaviy yoqilg'isi sarfini yana 1,3% ga kamaytiradi.

Tadqiqot predmeti. ТЭМ2 manyovr teplovozi ПД1М rusumli dizelining “Дизель-РК” dasturi yordamida yaratilgan matematik modeli.

Tadqiqot maqsadi. Dizel dvigatellarida gaz taqsimlash fazalari burchaklarini optimallashtirish orqali uning o'rtacha ekspluatatsion yoqilg'isi sarfini kamaytirish variantlarini o'rganish

Xulosa. 1. GTF burchaklarining standart qiymatlari faqatgina dizelning nominal rejimi va mashinist nazoratchisi holatining (MNH) yuqori holatlarida yoqilg'isi sarfi bo'yicha iqtisodiy samaradorlikni ta'minlaydi.

2. GTF burchaklarining qiymatlarini taqsimlash valini aylantirish yo'li orqali o'zgartirish teplovozda o'rtacha ekspluatatsion yoqilg'isi sarfini salt rejim va MNH ning quyi holatlarida pasayishiga va yuqori holatlarda esa oshishiga olib keladi.

3. Teplovoz kuch qurilmasining ish rejimidan kelib chiqqan holda, YSB qiymatini 29 gradusdan 14 gradusga kichraytirish va GTF burchaklarining qiymatlarini tirsakli valning aylanish yo'nalishi bo'ylab 35 gradusga o'zgartirish boshqariladigan parametrlarning qiymatlarini o'zgarishsiz bo'lgan holatga nisbatan yoqilg'ining smenaviy o'rtacha sarfini 9,9 % gacha pasayishiga sabab bo'ladi.

4. GTF burchaklarining qiymatlarini tirsakli valning aylanish yo'nalishi bo'ylab 35 gradusga o'zgartirish mashinist nazoratchisining yuqori holatlarida YGH ning qiymatini chegaraviy ruxsat etilgan qiymatdan 50 gradusdan katta bo'lmagan gradusga oshishiga sabab bo'ladi. Bu kamchilik manyovr teplovoznig ishini MNH ning yuqori holatlarida cheklash yoki kam yuklangan temir yo'l beklarida ishlaydigan teplovozlarida tadbiq etish bilan hal etiladi.

5. Yoqilg'i sepishning mexanik uzatmali manyovr teplovozlari yoqilg'i sepishni boshqarishning elektron tizimini joriy etish real yoqilg'i sarfini 20% gacha kamaytirish imkonini yaratadi. Ushbu holatda GTF burchaklarning qiymatlarini tirsakli valning aylanish yo'nalishi bo'ylab 35 gradusga o'zgartirish qo'shimcha yana 1,28% yoqilg'ini iqtisod qiladi.

Adabiyotlar

1. Носков, В. О. Исследование условий и режимов работы маневровых тепловозов / В. О. Носков, Л. В. Милютина, И. С. Синёв, В. Ф. [и др.] // Молодой учёный. Международный научный журнал. – 2017. – № 12 (146), часть 1. – С. 72-74.
2. Грачев, В.В. Повышение эксплуатационной экономичности маневрового тепловоза оптимизацией регулировочных параметров дизеля/В. В. Грачев, В. В. Фурман, О. Р. Хамидов, Б. Т. Кулмонов//Двигателестроение. МВТУ им. Н. Э. Баумана. – 2024. – №2. – С. 18
3. Грачев, В.В. Влияние переходных процессов в силовой установке маневрового тепловоза на расход топлива в эксплуатации / В. В. Грачев, А. В. Грищенко, Ф. Ю. Базилевский, Д. Н. Курилкин // Бюллетень результатов научных исследований. – 2022. – № 1. – С. 48-67.
4. Володин, А. И. Топливная экономичность силовых установок тепловозов: учебное пособие /А. И. Володин, Г. А. Фофанов. – Москва : Транспорт, 1979. – С. 126.
5. Сдобников, Е. Ф. Тепловозы ТЭМ1 и ТЭМ2: учебное пособие / Е. Ф. Сдобников. – 2-изд., перераб. и доп.–Москва :Транспорт, 1978.– 280 с.
6. Программный комплекс «Дизель-РК». – URL: <https://diesel-rk.com/Rus/index.php?page=Vozmojnosti> (дата обращения: 01.09.2024).
7. Володин, А. И. Локомотивные двигатели внутреннего сгорания: учебное пособие / А. И. Володин.–2-изд., перераб. и доп. –Москва :Транспорт, 1990. – 256 с.
8. Грачев, В. В. Эксплуатационная эффективность тепловозов с отечественными и зарубежными дизелями / В. В. Грачев, А. В. Грищенко, Ф. Ю. Базилевский, С. А. Сафонов // Транспорт Российской Федерации. – 2017. – № 3(70). – С. 48-50. – EDN YUCUNF.
9. Зарифьян, А. А. Концепция повышения энергетической эффективности тепловозной тяги / А. А. Зарифьян, Н. В. Гребенников, Т. З. Талахадзе // Интернет-журнал «Науковедение». – 2017. – Т. 9. – № 6. – С. 107.
10. Руководство на общую разборку, сборку и испытания дизелей типа Д50 (105.80.800.2.149-78).–URL:<https://pandia.ru/text/80/413/13256-30.php> (дата обращения: 31.08.2024).
11. Струнге, Б.Н. Отчет №12 по испытаниям двигателя Д50 №24А по выбору наилучшего режима работы двигателя без нагрузки: отчет о НИР/ Б. Н. Струнге, Г. Н. Заславский, А. Э. Симсон //Харьковский завод транспортно-машиностроения имени В.А.Мальшева – Харьков, 1951. – 78 с., илл.
12. Система электронного управления подачей топлива ЭСУВТ.01: ЭСУВТ.01.00.000 РЭ Руководство по эксплуатации // Саратов. – 2012. – 82 с., илл.
13. Марков, В. А. Экспериментальные исследования электронной системы управления топливоподачей тепловозного дизеля / В. А. Марков, В. В. Фурман, В. А. Миронов // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2012. – № 1. – С. 38-48. – EDN ONQLSH.